

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ДЕЛЬТЕ МЕКОНГА (ВЬЕТНАМ)

Работа выполнена при поддержке Правительства Российской Федерации (грант № 2013-220-04-157) и Томского политехнического университета (проект ВИУ_VAF_144_2014).

На основе результатов исследований, выполненных в 2001–2014 гг., получена общая характеристика химического состава вод и донных отложений в дельте реки Меконг (Вьетнам). Показано, что в по мере приближения к морю и роста времени взаимодействия воды с минералами происходит увеличение минерализации поверхностных вод и водных вытяжек из донных отложений. Состояние поверхностных вод и донных отложений оценивается как неудовлетворительное по содержанию NO_3^- , NH_4^+ , Hg, Cu, Zn, Mn, Fe, As, Al.

Ключевые слова: дельта Меконга; донные отложения; поверхностные воды; химический состав.

Введение

Река Меконг является одной из крупнейших рек в мире. Она играет исключительно важную роль в социально-экономическом развитии всей Юго-Восточной Азии. Особенно заметно влияние этой реки на жизнь людей на участке её нижнего течения – в Камбодже и Вьетнаме, где протоки и рукава Меконга – одновременно и важнейшая транспортная артерия, и источник водоснабжения, и приёмник сточных вод промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых предприятий. В дельте Меконга в пределах Вьетнама к этому перечню следует добавить целый ряд проблем, связанных с влиянием морских вод на водные и наземные экосистемы, в том числе с засолением сельскохозяйственных земель, подтоплением и затоплением селитебных территорий, размывом берегов [1–3]. Всё это и обусловило цель исследования – оценку современного эколого-геохимического состояния рукавов и протоков дельты Меконга.

Согласно существующим представлениям, поверхностный водный объект – это водоток, водоём или болото с характерным для него водным режимом. Горизонтальные границы водотока определяются положением береговой линии по среднесовременному уровню вод в период открытого русла, а нижняя вертикальная граница соответствует верхней границе недр – части земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков [4, 5].

С учётом приведённых выше определений полноценная оценка эколого-геохимического состояния поверхностного водного объекта должна включать исследование как поверхностных вод, так и донных отложений, что и определило цель и структуру работы. Источниками информации послужили опубликованные результаты ряда авторов и организаций [3, 6–12] и материалы собственных исследований, выполненных в 2012–2013 гг.

Объект и методика исследований

Дельта Меконга занимает территорию площадью 46 700 км² и имеет сложное строение [13]. В её составе можно выделить два крупных комплекса рукавов –

Хаузанг и Тиензанг. Первый из них (Хаузанг) включает три крупных рукава, а второй (Тиензанг) – шесть, среди которых наибольший по водности – рукав Хамлуонг. Именно этот рукав и был основным объектом исследований, включавших отбор проб поверхностных вод и донных отложений на участке протяжённостью 77 км от устьёвого взморья, в том числе: в январе 2013 г. – 12 проб; в январе 2014 г. – 3 пробы. Кроме того, в 2013 г. были отобраны 4 пробы донных отложений и поверхностных вод из протоков рукава Хамлуонг (Сонг Бен Тре, Сонг Ба Три, Сонг Вам Нуок Тронг, Сонг Рач Сау) и 4 пробы – из других рукавов дельты р. Меконг – Кочьен и Кыадай (рис. 1).

Полевые работы выполнены Фунг Тхай Зыонгом и сотрудниками университета Донгтхап (Вьетнам). Опробование поверхностных вод проводилось из слоя 0,3–0,4 м от поверхности, опробование донных отложений – из верхнего слоя около 0,2 м на расстоянии от берега: в рукавах – в 10–50 м; в протоках – в 5–10 м. Пробоподготовка включала: для донных отложений – высушивание при температуре 25°C и измельчение до фракции с диаметром частиц до 0,5 мм; для поверхностных вод – фильтрацию через фильтр с диаметром пор 1,5 мкм.

Лабораторные работы выполнялись в университете Донгтхап и Томском политехническом университете (ТПУ). При определении гидрохимических и геохимических показателей использовались следующие методы: pH – потенциометрический; удельная электропроводность χ – кондуктометрический; SO_4^{2-} – турбидиметрический; Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , Cl^- , бихроматная окисляемость (БО), перманганатная окисляемость (ПО) – титриметрический; соединения азота, фосфаты, Si, Fe – фотометрический и ионная хроматография; Hg, As, Zn, Pb, Cu, Cd, Mn, Al, Na^+ , K^+ – атомно-абсорбционный, инверсионно-вольтамперометрический, пламенно-эмиссионная спектрометрия. В донных отложениях определение pH, удельной электропроводности, перманганатной окисляемости и содержаний макрокомпонентов проводилось в водной вытяжке, микроэлементов – в кислотной.

При сопоставлении полученных результатов с опубликованными материалами других авторов использовались данные по постам Тан Чау (Tan Chau), Ми Тхуан (My Thuan) и Кан Тхо (Can Tho). Статисти-

ческий анализ геохимических материалов проведён с учётом требований [14]. Для объяснения полученных результатов выполнена оценка условий взаимодей-

ствий в системе «вода – порода» на основе методов химической термодинамики с помощью программного комплекса Solution [15].

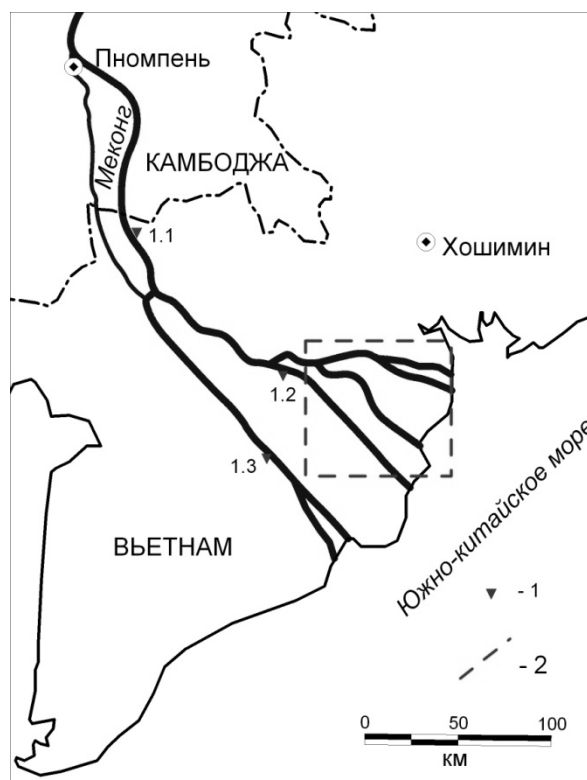


Рис. 1. Район исследования в нижнем течении р. Меконг: 1 – пункты наблюдений в рамках программы «Mekong river commission», в том числе: 1.1 – Тан Чау (Tan Chau); 1.2 – Ми Тхуан (My Thuan); 1.3 – Кан Тхо (Can Tho); 2 – участок исследований авторов в январе 2013 и 2014 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Поверхностные воды. Воды изученных рукавов и проток на участке более 30 км от морского края дельты Меконга, в соответствии с классификациями О.А. Алёкина [16], относятся по минерализации к «пресным», по химическому составу – к гидрокарбонатным кальциевым (пост Тан Чау) и хлоридным кальциевым третьего типа (в 35 и 75 км от морского края дельты). По мере приближения к морю минерализация поверхностных вод увеличивается и на участке 4–10 км уже соответствует «солончатым» водам. При этом изменяется и химический состав вод за счёт увеличения вклада Cl^- и Na^+ (хлоридные натриевые воды второго типа). В целом можно констатировать существенные изменения абсолютного и относительного содержания главных ионов в водах рукавов и проток в дельте Меконга в зависимости от: 1) удалённости от её морского края; 2) приливов, оказывающих наиболее значительное влияние на участке около 40–50 км, слабое – до 60–65 км и более [13, 17]; 3) фазы водного режима (согласно [12], максимальные среднемесячные расходы воды р. Меконг у г. Пномпень составляют более 3 000 м³/с и обычно наблюдаются в августе – сентябре, минимальные – 200–300 м³/с – в феврале – апреле). При этом следует отметить, что наиболее резкие изменения приурочены к участку 35–42 км от морского края дельты (рис. 2).

По величине pH, согласно [18], поверхностные воды обычно нейтральные и слабощелочные в пределах

всей дельты (табл. 1), по жёсткости – от мягких в её верхней части до очень жёстких – в 4–10 км от морского края. Поверхностные воды содержат значительное количество соединений азота. Вследствие этого по классификации Водного агентства Франции, используемой для оценки качества речных вод в регионе [10], уже по концентрациям NO_3^- и NH_4^+ воды изученных рукавов и проток относятся к классу «очень плохие» («very bad») в 17% случаев и к классу «плохие» («bad») – в 31% (при оценке качества использовалось 42 пробы, в которых определялись значения pH и удельной электропроводности, концентрации NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , химическое потребление кислорода по бихроматной окисляемости). Сравнение имеющихся данных с российскими нормативами качества вод для водных объектов рыбохозяйственного и хозяйственно-питьевого назначения также свидетельствует о повышенных содержаниях ряда веществ, в том числе Hg, Cu, Zn, Mn, Al, Fe, Si, NH_4^+ , NO_3^- , органических веществ по биохимическому потреблению кислорода (БПК₅) за 5 сут (см. табл. 1).

Поверхностные воды в дельте Меконга в целом недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов и незначительно пересыщены относительно кварца и соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами (ГК). Содержание последних ориентировочно определено по зависимости $[\text{ГК}] = 0,076 \text{ БО} + 0,235$ (квадрат корреляционного отношения $R^2 = 0,5$), полученной для рек Северной

Азии. По мере приближения водных масс к морю отмечается уменьшение их недонасыщенности или

даже пересыщение относительно кальцита и доломита (табл. 2).

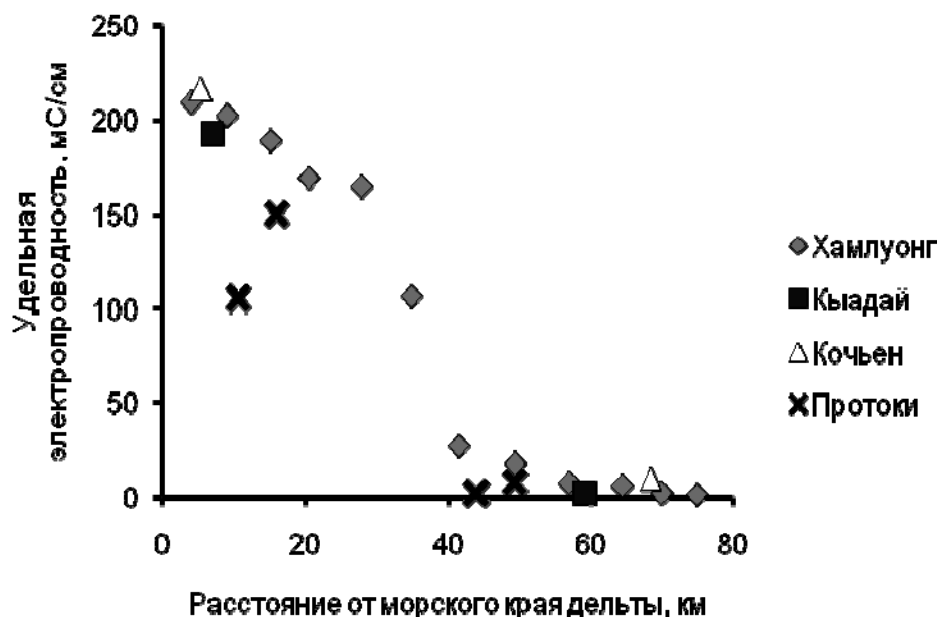


Рис. 2. Изменение удельной электропроводности поверхностных вод в рукавах Хамлуонг, Кыдай, Кочьен и протоках дельты Меконга в январе 2013 г.

Таблица 1

Химический состав поверхностных вод в дельте Меконга (4–77 км от морского края) в 2010–2014 гг.

Объект	Рукава Хамлуонг, Кочьен, Кыдай и малые протоки*					Рукав Хамлуонг					Предельно допустимые концентрации (ПДК) в Российской Федерации:	
	<i>A</i>	δ_A	min	max	<i>N</i>	<i>A</i>	δ_A	min	max	<i>N</i>	ПДК _{рх} для рек	ПДК _{хл}
pH	7,55	0,11	6,7	8,22	20	7,58	0,11	6,96	8,15	12	6,5–8,5	6,5–8,5
χ , мС/см	89,9	19,6	2	216,8	20	92,2	25,7	2	209,2	12	–	–
мг/дм ³												
Ca ²⁺	34,3	5	10,1	146,3	33	22,4	5,5	10,1	62,7	9	180	–
Mg ²⁺	29,2	6	2,9	141,7	33	22,1	15	4,8	141,7	9	40	50
Na ⁺	89,3	73,8	6,3	1270	17	154,3	139,6	6,3	1270	9	120	200
K ⁺	6,3	4,3	0,7	74,9	17	9,6	8,2	0,7	74,9	9	50	–
HCO ₃ [–]	63,9	59,1	4,8	182,1	3	63,9	59,1	4,8	182,1	3	–	–
Cl [–]	103,2	66,5	3,8	1823,2	27	166,3	110,8	3,8	1823,2	16	300	350
SO ₄ ^{2–}	154,7	42,6	1,7	1814,8	54	91	46,7	2,4	645,2	16	100	500
NO ₃ [–]	25,94	2,84	8,31	41,68	20	27,82	3,92	8,31	41,44	12	40	45
NO ₂ [–]	0,029	0,007	0,001	0,119	19	0,02	0,008	0,001	0,065	8	0,08	3,30
NH ₄ ⁺	4,59	0,68	0,67	11,39	20	4,68	0,98	0,67	11,39	12	0,50	1,93
PO ₄ ^{3–}	0,049	0,005	0,011	0,09	19	0,047	0,01	0,011	0,09	8	**	1,93
Si	4,658	0,429	1,008	10,051	19	5,224	0,792	2,382	10,051	8	–	10
BO ₃ , мгО/дм ³	5,30	0,53	2,95	11,29	22	4,78	0,75	2,95	11,29	11	–	15
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	2,30	0,13	1,83	3,94	19	2,17	0,12	1,87	2,87	8	2	2
мкг/дм ³												
Fe	1549	161	598	4451	38	1736	273	598	3920	16	100	300
Al	120	39	12	553	19	217	81	19	553	8	40	200
Mn	22	7	4	63	11	22	7	4	63	11	10	100
Zn	353,0	12,8	228,0	453,3	23	343,3	16,6	228,0	453,3	15	10	1000
Cu	60,5	5,1	1,2	85,4	23	56,4	7,4	1,2	85,4	15	1	1000
Pb	0,5	0,3	<0,1	4,5	23	0,7	0,4	<0,1	4,5	15	6	10
Cd	0,2	<0,2	0,2	0,2	23	0,2	<0,2	0,2	0,2	15	5	1
As	0,4	<0,1	0,1	0,7	23	0,4	<0,1	0,1	0,7	15	50	10
Hg	0,1	<0,1	<0,1	0,5	23	0,1	<0,1	<0,1	0,5	15	0,01	0,50

Примечания: *A* – среднее арифметическое; *N* – объём выборки; δ_A – погрешность определения среднего арифметического, $\delta_A = \sigma \cdot N^{-0,5}$, где σ – среднее квадратическое отклонение; min, max – минимальное и максимальное измеренные значения. * Приведены результаты обобщения материалов [6–8] и данных, полученных авторами в 2011–2014 гг. ** ПДК для водных объектов: 0,153 – олиготрофных; 0,460 – мезотрофных; 0,613 – евтрофных.

Значения индекса насыщения поверхностных вод и водной вытяжки из донных отложений рукава Хамлуонг в январе 2014 г.

Формула	Поверхностные воды на расстоянии от морского края дельты			Водная вытяжка из донных отложений на расстоянии от морского края дельты		
	75 км	35 км	9 км	75 км	35 км	9 км
$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-2,33	-1,93	-0,72	-0,73	-0,12	-0,49
$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$	-2,27	-1,88	-0,39	-0,62	0,00	-0,27
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	-4,24	-3,41	-0,06	-0,82	0,69	0,29
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$	-4,13	-3,31	0,59	-0,61	0,92	0,72
$\text{MgCO}_3(\text{магнезит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$	-5,80	-5,38	-2,96	-3,93	-3,03	-2,95
$\text{CaГК} = \text{Ca}^{2+} + \text{ГК}$	0,62	0,61	0,73	1,17	0,99	0,84
$\text{MgГК} = \text{Mg}^{2+} + \text{ГК}$	0,73	0,75	1,80	1,50	1,60	1,80
$\text{SiO}_2(\text{кварц}) + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	0,37	0,36	0,32	0,73	1,01	0,89
$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$	-258,0	-257,3	-257,3	-258,0	-257,2	-257,5
$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+}$	-23,10	-21,52	-21,70	-23,00	-21,37	-21,97
$2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{альбит}) + 11\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \times 2\text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + 2\text{Na}^+ + 2\text{HCO}_3^- + 4\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-10,74	-9,87	-6,00	-7,79	-5,56	-3,56
$3\text{KAlSi}_3\text{O}_8(\text{ортоклаз}) + 2\text{H}^+ + 12\text{H}_2\text{O} = \text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}\text{OH}_2(\text{мусковит}) + 2\text{K}^+ + 6\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-23,10	-22,29	-19,30	-19,33	-16,13	-15,64

Примечание. Отрицательные значения свидетельствуют о недонасыщенности раствора, положительные – о пересыщении.

Донные отложения. Водные вытяжки из проб донных отложений, отобранных в январе 2014 г. в рукаве Хамлуонг, имеют макрокомпонентный состав, соответствующий в створах 35 и 75 км от морского края дельты пресным, сульфатным кальциевым и сульфатным магниевым (второго типа) водам, а в 9 км от моря – солоноватым, хлоридным натриевым второ-

го типа. Изменения суммы главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и перманганатной окисляемости в водной вытяжке повторяют на более высоком уровне тенденции изменения этих показателей в поверхностных водах и характеризуются резким увеличением в створе в 9 км от моря по сравнению с пунктами, расположенными выше по течению (рис. 3, 4).

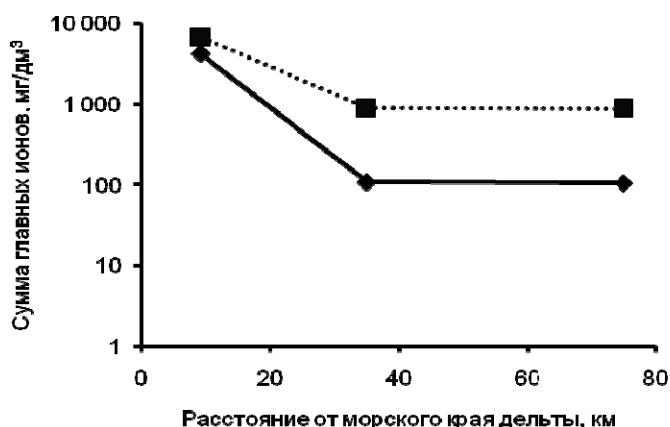


Рис. 3. Изменение суммы главных ионов в поверхностных водах (I) и водных вытяжках из донных отложений (II) рукава Хамлуонг в январе 2014 г.

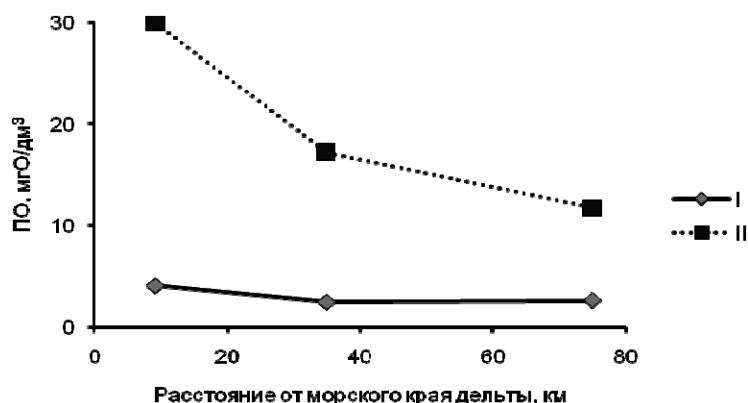


Рис. 4. Изменение перманганатной окисляемости (ПО) поверхностных вод (I) и водной вытяжки из донных отложений (II) рукава Хамлуонг в январе 2014 г.

И в 2014 г., и в 2013 г. отмечено увеличение удельной электропроводности и величины pH водных вытяжек по мере приближения к морю. Тенденции изменения концентраций микроэлементов по длине рукавов в разные годы не столь выражены и могут варьировать, что объясняется колебаниями факторов, определяющих уровень их содержания как в поверхностных водах, так и в донных отложениях. В частности, к таким факторам в первом приближении можно отнести образование малорастворимых соединений ряда металлов с карбонатами и органическими кислотами, особенно в поровом растворе донных отложений (табл. 2). При этом необходимо отметить, что пересыщение вод, оцениваемое методами химической термодинамики, является скорее потенциальным, чем реальным, и в значительной степени зависит от био-геохимических процессов, протекающих в водной

среде и донных отложениях [19]. Как показано в работе [20], важную роль в изменении концентраций ряда химических элементов играют и процессы сорбции (десорбции) на минеральных взвешах в зоне смешения речных и морских вод.

В целом донные отложения рукавов и протоков в дельте Меконга содержат тяжёлые металлы и мышьяк в количествах (табл. 3), сопоставимых с их концентрациями в Меконге в пунктах Тан Чау, Ми Тхуан, Кан Тхо и других крупных реках Южной и Юго-Восточной Азии [1–3, 8–12, 21]. В ряде случаев уровень содержания некоторых элементов (например, Zn и Cu) заметно превышает соответствующие показатели для других природных зон в Азии (Zn, мг/кг: тундра – 8,71; лесотундра – 10,04; тайга – 46,86; Cu, мг/кг: тундра – 1,69; лесотундра – 5,92; тайга – 22,28 [22]).

Т а б л и ц а 3

Химический состав донных отложений в дельте Меконга (4–77 км от морского края)

Показатель	Дельта р. Меконг, январь 2013 г., $N = 20$		Рукава Хамлуонг, Кыадай и Кочен, январь 2013 г., $N = 16$		Рукав Хамлуонг, январь 2014 г., $N = 3$		Река Меконг – пункт Тан Чау (TanChau) [10]		Река Брахмапутра [21]	Река Ганг [21]
	A	δ_d	A	δ_d	A	δ_d	A 2003 г.	A 2004 г.	A	A
pH*	7,26	0,12	7,38	0,13	7,43	0,17	–	–	–	–
χ^* , мС/см	3,04	0,44	3,26	0,05	1,28	0,95	–	–	–	–
мг/кг										
Ca ²⁺ *	–	–	–	–	102,3	12,4	–	–	–	–
Mg ²⁺ *	–	–	–	–	96,0	41,2	–	–	–	–
Na ⁺ *	–	–	–	–	761,8	675,9	–	–	–	–
K ⁺ *	–	–	–	–	58,0	35,7	–	–	–	–
HCO ₃ ⁻ *	–	–	–	–	207,3	42,8	–	–	–	–
Cl ⁻ *	–	–	–	–	1024,6	980,2	–	–	–	–
SO ₄ ²⁻ *	–	–	–	–	584,8	193,7	–	–	–	–
NO ₃ ⁻ *	31,611	2,130	32,417	2,603	4,247	2,090	–	–	–	–
NH ₄ ⁺ *	47,268	2,889	49,683	3,294	3,072	1,113	–	–	–	–
Si*	–	–	–	–	118,667	9,945	–	–	–	–
ПО*, мгО/дм ³	–	–	–	–	19,667	5,397	–	–	–	–
Fe	–	–	–	–	32403,3	1872,5	–	–	–	–
Al	–	–	–	–	38393,3	6226,6	–	–	–	–
Mn	–	–	–	–	713,933	30,346	–	–	–	–
Zn	96,571	2,528	95,967	3,084	83,970	1,781	28,233	54,853	78,3	37,4
Cu	33,373	0,549	33,245	0,675	17,523	0,260	4,091	14,546	–	–
Pb	3,760	0,423	3,834	0,480	22,687	1,342	6,842	18,947	9,6	22,8
Cd	1,111	0,144	1,192	0,170	<0,5	–	–	–	–	–
As	5,889	0,351	6,204	0,382	<0,5	–	3,864	11,364	–	–
Hg	0,100	0,006	0,107	0,007	–	–	0,092	0,126	–	–

* Определение в водной вытяжке.

Нормативы качества для донных отложений поверхностных водных объектов не установлены, но если исходить из того, что донные отложения играют важную роль в формировании почвенного покрова в поймах и дельтах рек, то для приближённой оценки их экологического состояния можно использовать ПДК веществ в почвах. С учётом этого было проведено сравнение с ПДК, установленными для почв в Российской Федерации. Его результаты свидетельствуют о повышенном содержании Mn, As, Cu, Pb, Zn, что следует учитывать при ведении в регионе сельского хозяйства.

Заключение

Для дельты Меконга характерно достаточно резкое увеличение суммарного содержания растворён-

ных солей и электропроводности поверхностных вод и водных вытяжек из донных отложений в 35–42 км от морского края дельты по сравнению с вышерасположенными участками вследствие смешения морских и речных вод. Одновременно с ростом минерализации происходит изменение состояния системы «вода – порода» в зависимости от удалённости от моря и времени взаимодействия воды с минералами и органоминеральными соединениями. В частности, если поверхностные воды на участке, удалённом от морского края дельты более чем на 10 км, недонасыщены относительно карбонатных минералов, то водные вытяжки из донных отложений уже в 35 км от моря могут находиться в равновесном или пересыщенном состоянии относительно кальцита и доломита. При этом может происходить выведение из водной среды малорастворимых соединений кальция, магния и ряда дру-

гих металлов и их накопление в твёрдой фазе донных отложений, а также соосаждение ряда элементов в процессе аккумуляции речных наносов. Определённую роль в переходе металлов из растворённой формы миграции в коллоидную и взвешенную с последующей аккумуляцией в донных отложениях могут играть и органические кислоты, роль которых необходимо исследовать более детально.

Качество поверхностных вод и донных отложений определяется комплексом факторов, выделить среди которых преимущественно антропогенную и природную составляющие чрезвычайно сложно. Хозяйственное освоение бассейна Меконга продолжается в течение тысячелетий, причём деятельность человека основана на использовании природных процессов и явлений. В частности, сельское хозяйство функционирует с учётом водного режима, гидрохимического и теплового баланса в дельте Меконга. Как следствие,

антропогенное воздействие проявляется, прежде всего, в виде усиления ранее существующих миграционных потоков, что не исключает появления в водных объектах веществ исключительно или преимущественно антропогенного происхождения [10].

С учётом этого установить «природный фон» для поверхностных вод и донных отложений в дельте Меконга не представляется возможным, а их общее состояние может быть охарактеризовано в целом как неудовлетворительное по содержанию соединений азота, тяжёлых металлов и мышьяка. Это ограничивает использование вод в хозяйственно-питьевых целях и определяет необходимость специальной подготовки вод и донных отложений для нужд сельского хозяйства. Смысл такой подготовки может заключаться в активизации процессов образования малорастворимых соединений, менее токсичных, чем исходные вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hoa L.T.V., Nhan N.H., Wolanski E., Cong T.T., Shigeko H. The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2007. No. 71. P. 110–116.
2. Overview of wetlands status in Viet Nam following 15 years of Ramsar convention implementation. Hanoi, Viet Nam : Viet Nam Environment Protection Agency, 2005. 72 p.
3. The planning Atlas of the Lower Mekong River Basin // Mekong River Commission. Vientiane : MRC, 2011. 104 p.
4. Федеральный закон «О недрах» № 2396-1. М. : Гос. Дума РФ, СФ, 2011. 64 с.
5. Федеральный закон № 74-ФЗ. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 25.06.2012 г.). М. : Гос. Дума РФ, СФ, 2012. 54 с.
6. Доан Ван Фук. Исследование воды для сельского хозяйства. Бен тре : Департамент науки и технологии, 2012. 77 с. (на вьетнам. яз.).
7. Тон Тхат Хань. Экологический мониторинг в провинции Бен Тре. Бен Тре : Департамент науки и технологии, 2013. 139 с. (на вьетнам. яз.).
8. Хо Тронг Тиен. Планирование орошения в провинции Бен Тре. Бен Тре : Южный гидротехнический институт, Академия науки и технологий Вьетнама, 2011. 43 с. (на вьетнам. яз.).
9. An assessment of water quality in the Lower Mekong Basin // Mekong River Commission Technical Paper. Vientiane, LAO DPR : MRC, 2008. No. 19. 70 p.
10. Diagnostic study of water quality in the Lower Mekong Basin // Mekong River Commission Technical Paper. Vientiane, LAO DPR : MRC, 2007. No. 15. 58 p.
11. Hurt B.T., Jones M.J., Pistone G. Transboundary Water Quality Issues in the Mekong River Basin // Mekong River Commission. Water Studies Centre, Monash University, Australia, 2001. 77 p.
12. The Mekong River Report Card on Water Quality. V. 2. Assessment of Potential Human Impacts of Mekong River water quality // Mekong River Commission. Vientiane, Lao DPR : MRC, 2010. 15 p.
13. Михайлов В.Н., Аракелянц А.Д. Особенности гидрологических и морфологических процессов в устьевой области р. Меконг // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37, № 3. С. 259–273.
14. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. РД 52.24.622–2001. М. : Фед. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды, 2001. 68 с.
15. Савичев О.Г., Колоколова О.В., Жуковская Е.А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // *Геоэкология*. 2003. № 2. С. 108–119.
16. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова. Л. : Гидрометеиздат, 1989. 391 с.
17. Михайлов В.Н. Гидрологические процессы в устьях рек. М. : ГЕОС, 1997. 172 с.
18. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / под ред. Т.В. Гусевой. М. : ФОРУМ ; ИНФРА-М, 2007. 192 с.
19. Океанология. Химия океана : в 2 т. Т. 1 : Химия вод океана / под ред. О.К. Бордовского и В.Н. Иваненкова. М. : Наука, 1979. 518 с.
20. Савенко А.В. Экспериментальное изучение сорбции Hg на минеральных взвешках в зоне смешения речных и морских вод // *Водные ресурсы*. 2000. Т. 27, № 6. С. 755–758.
21. Ramesh R., Ramanathan A.L., Ramesh S., Purvaja R., Subramanian V. Distribution of rare earth elements and heavy metals in the surficial sediments of the Himalayan river system // *Geochemical Journal*. 2000. Vol. 34. P. 295–319.
22. Савичев О.Г., Фунг Тхай Зыонг. Зональные закономерности изменения химического состава речных отложений Сибири и условия его формирования // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. Т. 323, № 1. С. 157–161.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 30 сентября 2014 г.

THE ECOGEOCHEMICAL CONDITION OF SURFACE WATERS AND BED SEDIMENTS IN THE DELTA OF THE MEKONG RIVER (VIETNAM)

Tomsk State University Journal, 2014, 388, pp. 246–252.

Savichev Oleg G., Phung Thai Duong. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: OSavichev@mail.ru; phungthaiduongdht@gmail.com

Keywords: delta of the Mekong River; bed sediments; surface waters; chemical composition.

The general characteristic of a chemical composition and quality of surface waters and bed sediments in the delta of the Mekong River in the territory of the Socialist Republic of Vietnam on the basis of the given geochemical research in 2001–2014 is received. Ranges of change and average values of pH, specific electric conductivity, bichromate oxidability and content of main ions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), biogenic substances (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Si), iron and microelements (Al, Mn, Zn, Cu, Pb,

Cd, As, Hg) in the waters and sediments of the delta arm and branches are established. Comparison of the data on the chemical composition of bed sediments in the delta of the Mekong River, on upper sites and in other large rivers of Southern and Southeast Asia is carried out. The conclusion about the comparability of heavy metals and arsenic content is made. It is established that the content of some elements in the delta of the Mekong appreciably exceeds the corresponding parameters for other natural zones in Asia (Zn – by 9-11 times higher than in tundra and forest-tundra, about twice higher in comparison with taiga; Cu – by 6-20 times higher than in tundra and forest-tundra, and on the average by 1.5 times higher than in taiga). The increase in the sum of the dissolved substances in surface waters and water extracts from bed sediments is marked depending on the distance to the sea (in the process of mixture of sea and river waters) and the time of interaction of water with minerals and organic-mineral substances (within the hydrological year from summer-autumnal floods to winter-spring low water and in the transition from surface waters to porous solutions of bed sediments). A condition change of the system "water – gas – organic substance – rock" is also simultaneously observed. This change is connected with the reduction of unsaturation of surface waters, achievement of balance and even some supersaturation with carbonate minerals and humic acids compounds in water extracts of bed sediments on a site up to 10 km from the sea edge of the delta. The formation and subsequent removing of poorly soluble substances from water environment as well as the sorption processes connected with them can serve as a reason of accumulation of some microelements in bed sediments. The general condition of surface waters and bed sediments in the delta of the Mekong River can be characterized as unsatisfactory by the content of nitrogen compounds (NO_3^- , NH_4^+), iron and some microelements (Hg, Cu, Zn, Mn, Fe, As, Al). It limits the use of waters in the economic-drinking purposes and determines a necessity of special preparation of surface waters and bed sediments for the needs of agriculture and municipal services. Similar preparation should be directed on the activation of poorly soluble substance formation that are less toxic than initial substances.

REFERENCES

1. Hoa L.T.V., Nhan N.H., Wolanski E., Cong T.T., Shigeko H. The combined impact on the flooding in Vietnam's Mekong River delta of local man-made structures, sea level rise, and dams upstream in the river catchment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, no. 71, pp. 110-116.
2. Overview of wetlands status in Viet Nam following 15 years of Ramsar convention implementation. Hanoi, Viet Nam: Viet Nam Environment Protection Agency, 2005. 72 p.
3. The planning Atlas of the Lower Mekong River Basin. Mekong River Commission. Vientiane: MRC, 2011. 104 p.
4. Federal Law "On Subsurface" no. 2396-1. Moscow: RF State Duma, Federation Council Publ., 2011. 64 p. (In Russian).
5. Federal Law no. 74-FZ. Water Code of the Russian Federation (as amended on 25.06.2012). Moscow: RF State Duma, Federation Council Publ., 2012. 54 p. (In Russian).
6. Doan Van Phuc. Investigation of water for agriculture. Ben tre: Department of Science and Technology, 2012. 77 p. (In Vietnamese).
7. Ton Nhat Han. Ecological monitoring in the province of Ben Tre. Ben Tre: Department of Science and Technology, 2013. 139 p. (In Vietnamese).
8. Ho Trong Tien. Scheduling irrigation in the province of Ben Tre. Ben Tre: Southern Institute of Hydraulic Engineering, Academy of Science and Technology of Vietnam Publ., 2011. 43 p. (In Vietnamese).
9. An assessment of water quality in the Lower Mekong Basin. Mekong River Commission Technical Paper. Vientiane, LAO DPR: MRC, 2008, no. 19, 70 p.
10. Diagnostic study of water quality in the Lower Mekong Basin. Mekong River Commission Technical Paper. Vientiane, LAO DPR: MRC, 2007, no. 15, 58 p.
11. Hurt B.T., Jones M.J., Pistone G. Transboundary Water Quality Issues in the Mekong River Basin. Mekong River Commission. Water Studies Centre, Monash University, Australia, 2001, 77 p.
12. The Mekong River Report Card on Water Quality. V. 2. Assessment of Potential Human Impacts of Mekong River water quality. Mekong River Commission. Vientiane, Lao DPR: MRC, 2010, 15 p.
13. Mikhaylov V.N., Arakel'yants A.D. Specific features of hydrological and morphological processes in the mouth area of the Mekong River. *Vodnye resursy – Water Resources Journal*, 2010, vol. 37, no. 3, pp. 259-273. (In Russian).
14. Metodicheskie ukazaniya. Provedenie raschetov fonovykh kontsentratsiy khimicheskikh veshchestv v vode vodotokov. RD 52.24.622–2001 [Guidelines. Calculations of the background concentrations of chemicals in water streams. RD 52.24.622–2001]. Moscow: Federal Service of Russia for Hydrometeorology and Monitoring of Environment Publ., 2001. 68 p.
15. Savichev O.G., Kolokolova O.V., Zhukovskaya E.A. Composition of the Tom' River bottom sediments and their equilibrium with river water. *Geoekologiya – Geoecology*, 2003, no. 2, pp. 108-119. (In Russian).
16. Nikanorov A.M. (ed.) *Spravochnik po gidrokhimii* [Handbook of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 391 p.
17. Mikhaylov V.N. *Gidrologicheskie protsessy v ust'yakh rek* [Hydrological processes in estuaries]. Moscow: GEOS Publ., 1997. 172 p.
18. Guseva T.V. (ed.) *Gidrokhimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchey sredy* [Hydrochemical characteristics of the environment]. Moscow: FORUM ; INFRA-M Publ., 2007. 192 p.
19. Bordovskiy O.K., Ivanenkov V.N. (eds.) *Okeanologiya. Khimiya okeana: v 2 t.* [Oceanology. Ocean Chemistry. In 2 volumes]. Moscow: Nauka Publ., 1979. Vol. 1, 518 p.
20. Savenko A.V. Experimental Studying Hg Sorption on Mineral Suspensions in the Zone of Sea and River Water Mixing. *Vodnye resursy – Water Resources Journal*, 2000, vol. 27, no. 6, pp. 755-758. (In Russian).
21. Ramesh R., Ramanathan A.L., Ramesh S., Purvaja R., Subramanian V. Distribution of rare earth elements and heavy metals in the surficial sediments of the Himalayan river system. *Geochemical Journal*, 2000, vol. 34, pp. 295-319.
22. Savichev O.G., Fung Thai Duong. Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya khimicheskogo sostava rechnykh otlozheniy Sibiri i usloviya ego formirovaniya [Zonal patterns of change in the chemical composition of river sediments of Siberia and the conditions of its formation]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta – Bulletin of Tomsk Polytechnic University*, 2013, vol. 323, no. 1, pp. 157-161.

Received: 30 September 2014