

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ПРИАМУРЬЯ

*С.И. Левшина*

*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Ким Ю Чена 65, Хабаровск, 680000,*

*e-mail: [levshina@ivep.as.khb.ru](mailto:levshina@ivep.as.khb.ru)*

*Поступила в редакцию 15 октября 2011 г.*

Представлены результаты исследования содержания и распределения марганца в растворенной и взвешенной формах в водах р. Амур и его крупных притоков (Зея, Сунгари, Усури и др.), полученные в 2006–2009 гг. Выявлена неравномерность распределения марганца в водах Амура по поперечному профилю реки и по вертикалям под влиянием его крупных притоков. Определены органические комплексы марганца (гумусовой природы) в поверхностных водах Приамурья. Количество марганца в их составе не превышало 33.0 % от валового растворенного марганца. Описано распределение валового растворенного и органических комплексов марганца в зоне смешения речных и морских вод Амурского лимана.

**Ключевые слова:** марганец, поверхностные воды, зона смешения, органическое вещество, гумусовые кислоты, р. Амур, Приамурье.

### ВВЕДЕНИЕ

Марганец (Mn) является необходимым элементом в жизни организмов на Земле [6, 9]. Марганец участвует в процессах фотосинтеза, в реакциях фотоллиза воды и выделения кислорода, реоксидации железа в питательном растворе и клетке растений, что предохраняет клетку от отравления, ускоряет рост организмов, участвует в процессах восстановления нитратов и ассимиляции азота растениями и т. д. Он необходим всем пресноводным водорослям, так как является активатором энзимных систем [28]. Вместе с тем, высокое содержание Mn в поверхностных водах ухудшает органолептические свойства воды, вызывает дополнительные трудности в процессе водоподготовки. Хотя марганец является истинным биоэлементом, он обладает высоким окислительно-восстановительным потенциалом, и животные избегают его высокого накопления, поэтому в России приняты весьма жесткие нормы по содержанию данного элемента в поверхностных водах, ПДК для вод рыбохозяйственного назначения составляет 10 мкг/дм<sup>3</sup> [22].

Это распространенный элемент, и по содержанию в земной коре (среди тяжелых металлов) он уступает лишь железу и титану, здесь его среднее содержание составляет 0.1 % [3]. Содержание Mn в поверхностных водах изменяется в широком диапазоне: от единиц до сотен микрограммов в 1 л [17]. Ос-

новным источником его поступления в поверхностные воды являются месторождения марганцевых руд, в состав которых зачастую входит железо и другие химические элементы (кобальт, никель, ванадий и др.). Значительное количество Mn поступает в воду с терригенным стоком, а также при отмирании и разложении водных животных, высших водных растений и водорослей [2]. В современных условиях не исключена и техногенная составляющая поступления марганца в поверхностные воды. Марганец относится к числу элементов, способных находиться в различных степенях окисления – от 0 до +7 [8]. В природных водах он преимущественно находится в двухвалентном (растворенная часть) и четырехвалентном (в основном во взвеси) состояниях.

Имеется значительный массив данных по содержанию Mn в поверхностных водах Приамурья [10, 11, 14, 18, 26, 29, 30], но зачастую они сильно различаются. Основные погрешности в определении Mn, как впрочем и других элементов, связаны с отбором проб, их фильтрацией и консервированием.

Оценка количественного содержания Mn и форм его существования в поверхностных водах Приамурья, а также выноса в Амурский лиман и далее в окраинные моря (Охотское и Японское) весьма важны при изучении биогеохимических процессов в водных экосистемах.

Цель работы – оценить содержание и распределение Mn в водах водотоков и водоемов бассейна Среднего и Нижнего Амура (крупных притоках, припойменных озерах), а также в водах Амурского лимана. Значительное внимание в исследовании уделено растворенным формам марганца, его комплексным соединениям с растворенным органическим веществом (РОВ) поверхностных вод, в частности, с гумусовыми кислотами (ГФК), поскольку ряд исследователей [17, 19 и др.] считают, что эти формы являются биодоступными и, следовательно, нетоксичными.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал был собран в ходе экспедиционных работ, проведенных ИВЭП ДВО РАН в 2006–2008 гг. в рамках программы ДВО РАН “Комплексные экспедиционные исследования природной среды в бассейне р. Амур (2004–2008)” и в 2009 г.

На рис. 1 показано местоположение станций отбора проб воды. В основном русле Амура (ст. 5, 7) и в Усури (ст. 9) пробы объемом 2 л отбирали батометром из приповерхностных (0.5 м) и придонных (0.5 м от дна) горизонтов по гидрологическим створам, на остальных станциях – на середине или в нескольких точках (гидрологического створа) из приповерхностных горизонтов, на припойменных озерах – в центре или в нескольких точках на поверхности озера. В Амурском лимане (ст. 16–31) отобрано 15 проб воды (0.5–1.0 м от поверхности).

Для определения растворенного и взвешенного Mn пробы фильтровали (под вакуумом) с использо-

ванием ядерных фильтров с размером пор 0.45 мкм. Воды р. Сунгари фильтровали через фильтры с размером пор 0.2 и 0.45 мкм. Полученные фильтраты подкисляли  $\text{HNO}_3$  до pH=2. Для определения форм углерода отдельная проба фильтровалась через стекловолокнистые фильтры марки GF/F Whatman. В летний период пробы фильтровали на судне сразу после отбора и хранили не более 2–4 сут. при температуре 2–5 °C или замораживали и доставляли в лабораторию для анализа. Зимой и весной пробы в течение 1–2 сут. доставлялись в лабораторию в контейнерах при температуре 0–5 °C и фильтровались. В работе использовалась комплексная схема сбора и обработки материала, включающая в себя методы мембранной фильтрации, ионообменной хроматографии и масс-спектрофотометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) (прибор Elan DRC II PerkinElmer (США), Институт тектоники и геофизики ДВО РАН). Марганец во взвеси определяли после разложения фильтров со взвесью сильными кислотами с последующим определением методом ICP-MS. Для извлечения из воды форм Mn, связанного с гумусовыми кислотами, использовался метод концентрирования на диэтиламиноэтилцеллюлозе (ДЭАЭ-целлюлозе) [12].

В пробах определяли цветность, взвешенное вещество (ВВ), растворенный органический углерод (C<sub>р</sub>) стандартными методами химического анализа природных вод [1], гумусовые кислоты – ДЭАЭ-методом [12]. Попутно измерялся водородный показатель pH-метром марки pH-150МИ, а также соленость морской воды.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение Mn в воде Амура на различных участках реки значительно изменяется как вдоль реки, так и по гидрологическим створам и существенно зависит от поступления вод от его крупных притоков (табл. 1, 2). Для вод Амура характерно преобладание взвешенных форм Mn над растворенными. Максимальное содержание взвешенных форм Mn определено в водах ниже устья р. Сунгари (ст. 7) у правого берега р. Амур, что согласуется с данными других исследователей [4, 5]. Согласно этим авторам, марганец мигрирует преимущественно в виде взвеси – до 98.3 %.

Как можно видеть в табл. 2, содержание валового растворенного Mn как в Амуре (до впадения Сунгари), так и в его крупных левых притоках находится в среднем на уровне 14–51.7 мкг/дм<sup>3</sup>, что составляет 1.4–5.2 ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Высоким содержанием растворенных форм Mn характеризуются воды левобережных притоков Амура –

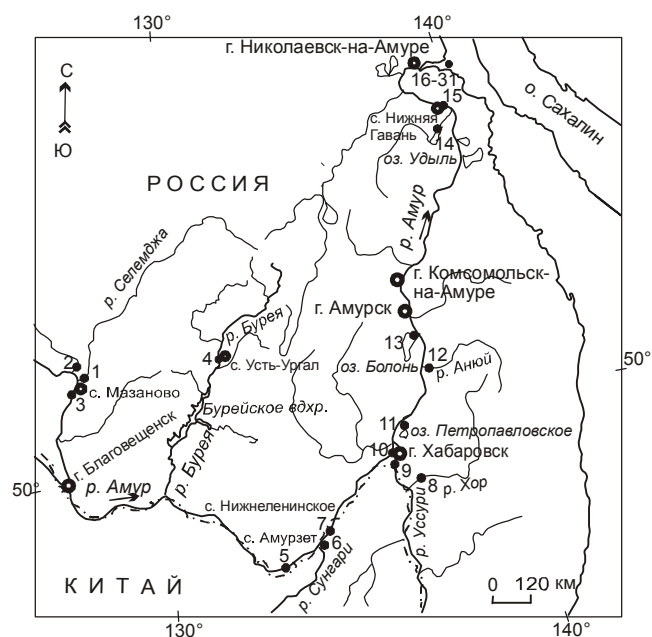


Рис. 1. Расположение станций отбора проб воды.

Таблица 1. Распределение взвешенных форм Mn и взвешенных веществ (ВВ) в водах р. Амур и его крупных притоков в июне 2007 г.

№ станции	Объект	n	Горизонт	Mn		ВВ
				мкг/дм <sup>3</sup>	мкг/г	мг/дм <sup>3</sup>
5	Р. Амур, с. Амурзет	4*	Поверхностный и придонный	26.6–34.8 (32.3)	429.5–519.5 (486.1)	15.5–17.9 (17.7)
6	Р. Сунгари, 2 км** выше устья	1	Поверхностный	87.2/165.6	869.2/1788.4	368.0
7	Р. Амур, с. Нижнеленинское	3	Поверхностный	54.6–180.4 (129.5)	431.2–1894.5 (1396.7)	22.3–113.0 (77.7)
		3	Придонный	58.5–206.0 (145.6)	498.8–1989 (1484.8)	24.0–115.2 (80.1)
9	Р. Уссури, 7 км выше устья	6	Поверхностный и придонный	45.8–62.0 (55.6)	1461–1892 (1685)	15.4–22.8 (20.9)
15	Р. Амур, с. Нижняя Гавань***	4	Поверхностный	70.2–82.6 (76.6)	1620–1852 (1720)	31.4–42.9 (38.3)
	Речные взвеси (среднее содержание) [5]			500	1100	30–460 и более

*Примечание.* Здесь и в таблице 2 даны пределы содержания, в скобках – среднее значение; перед косой чертой – данные для воды, фильтрованной через 0.45 мкм; за косой чертой – данные для воды, фильтрованной через 0.2 мкм; \* – пробы отобраны у левого и правого берега реки; \*\* – данные за июль 2009 г.; \*\*\* – данные за сентябрь 2007 г.

р. Зея с ее притоками и р. Буреи (в среднем 35–52 мкг/дм<sup>3</sup>). Количество связанного лигандами Mn в них достигает 28–33 % (от содержания валового растворенного марганца). Воды рек Зея и Бурей, по сравнению с водами Амура, характеризуются более высоким содержанием ГФК, которое составляет более 50 % от С<sup>p</sup>, и более низкими значениями pH водной среды, что нами отмечалось ранее [15, 16].

Полученные данные показали, что воды Амура ниже устья Сунгари (ст. 7) содержали Mn как в растворенной, так и во взвешенной формах. При этом количество взвешенных форм Mn (по отношению к сумме взвешенного и растворенного марганца) в воде доминировало и изменялось по гидрологическому створу от 73 до 98 % с максимумом на середине реки и ближе к правому (китайскому) берегу. Содержание валового растворенного Mn в воде также существенно изменялось по продольному профилю реки – от минимальных концентраций (4.4 мкг/дм<sup>3</sup>) у левого (российского) до 20.2 мкг/дм<sup>3</sup> (2 ПДК) у правого берега. В остальное время наблюдений закономерности в распределении валового растворенного Mn на данном участке Амура сохранялись, но количественные показатели были существенно выше (в 2–4 раза). В составе растворенных форм Mn найдены связанные в комплексы органическим веществом ионы Mn<sup>2+</sup>, которые составляли от 10 до 31 % (от валового растворенного Mn) у правого и левого берегов, соответственно.

Высокое содержание Mn в водотоках бассейна Амура обусловлено несколькими причинами. Одной из них является широкое развитие здесь горных пород (базальты, андезибазальты, андезиты), минералы которых содержат Mn в значительных количествах, а также месторождений марганцево-железистых руд. Валовое содержание марганца в горных породах Приамурья, по данным В.И. Попковой с соавторами [23], составляет: в гранитах, диоритах, базальтах, андезибазальтах 0.05, 0.14, 0.21, 0.1 %, соответственно, а его среднее содержание в земной коре, по [3], – 0.1 %. В тех или иных количествах и формах марганец присутствует практически во всех аккумулятивных образованиях в долинах рек и почвенном покрове гор бассейна Амура (железомарганцевые пленки и конкреции) [20, 24].

Основными факторами, влияющими на геохимическую подвижность марганца в почвах и поверхностных водах, являются: реакция среды, окислительно-восстановительный потенциал, гидротермический фактор и условия разложения органического вещества [21]. Часть марганца поступает в растворы и активно мигрирует в почвах и ландшафтах Приамурья, что подтверждается его высоким содержанием в подземных водах – до 2–3 мг/дм<sup>3</sup> [13, 27]. В ландшафтах, богатых современными органогенными отложениями, интенсивность миграции Mn в поверхностных водах относительно невелика (коэффициент водной мигра-

Таблица 2. Распределение растворенных форм Mn в поверхностных водах Приамурья в 2006–2009 гг.

Дата отбора	n	рН	Mn		
			растворенный	связанный с гумусовыми кислотами	
			мкг/дм <sup>3</sup>	мкг/дм <sup>3</sup>	% от валового растворенного Mn
1	2	3	6	7	8
р. Селемджа (ст. 1)					
24.09.07	1	6.69	51.1	14.3	28.0
19.09.08	1	6.71	48.6	13.8	28.4
р. Граматуха (ст. 2)					
19.09.08	1	6.17	51.7	15.2	29.4
р. Зея (с. Мазаново, ст. 3)					
19.09.08	3	6.78–6.90 (6.85)	32.9–36.9 (35.0)	9.5–10.5 (10.0)	28.3–29.0 (28.6)
р. Буряя (с. Усть-Ургал, ст. 4)					
25.08.06	2	6.65–6.74	38.1–39.2	11.4–14.1	29.7–36.0
р. Амур (с. Амурзет, ст. 5)					
19.06.07	3	6.52–7.47 (6.88)	11.4–15.6 (14.0)	3.2–3.8 (3.4)	21.3–26.8 (24.3)
19.06.07*	3	6.60–7.13 (6.78)	16.1–17.1 (16.1)	3.5–4.1 (3.8)	20.5–25.3 (23.7)
20.08.07	4	6.70–7.03 (6.92)	9.2–17.4 (14.0)	2.5–4.8 (3.7)	26.3–27.8 (26.9)
06.06.08	5	6.90–7.10 (7.00)	11.2–18.8 (15.6)	2.2–7.6 (4.8)	20.0–33.8 (29.5)
р. Сунгари (2 км выше устья, ст. 6)					
20.07.09**	1	8.09	35.7	3.6	10.1
20.07.09***	1	8.09	9.7	< 0.001	не обн.
р. Амур (с. Нижнеленинское, ст. 7)					
21.06.07	3	6.55–6.63 (6.53)	4.4–20.2 (11.6)	1.0–3.6 (2.4)	14.8–22.2 (17.2)
21.06.07*	3	6.97–7.32 (7.20)	6.8–27.4 (17.1)	1.1–2.2 (1.6)	8.0–16.2 (11.2)
21.08.07	5	6.70–7.63 (7.13)	15.6–59.7 (44.5)	3.7–6.1 (4.7)	12.2–23.7 (14.7)
09.06.08	4	7.20–7.81 (7.60)	9.6–53.7 (39.2)	3.0–5.4 (4.6)	9.8–31.1 (17.0)
р. Хор (ст. 8)					
23.07.07	2	7.25	4.1–10.4	< 0.001–0.9	< 0.001–8.7
23.04.09	1	7.02	< 0.001	< 0.001	не обн.
р. Уссури (7 км выше устья, ст. 9)					
23.06.07	3	7.59–7.67 (7.61)	15.2–26.1 (21.1)	3.1–3.8 (3.5)	14.6–20.4 (16.9)
23.06.07*	3	7.11–7.21 (7.17)	17.8–31.1 (26.8)	3.5–4.4 (4.1)	14.1–19.7 (16.0)
10.06.08	3	7.26–7.54 (7.36)	18.9–28.9 (24.0)	3.9–4.6 (4.3)	15.9–20.1 (18.1)
р. Амур (Хабаровск, железнодорожный мост, ст. 10)					
29.01.09	6	6.52–6.64 (6.56)	< 0.001–61.3 (21.0)	< 0.001–5.2 (1.75)	< 0.001–9.9 (5.7)
оз. Петропавловское (ст. 11)					
12.09.07	3	6.01–6.59 (6.30)	16.4–68.0 (40.5)	2.3–11.3 (9.6)	14.1–22.2 (17.6)
р. Аной (ст. 12)					
25.08.06	2	7.36	14.9	< 0.00–11.6	< 0.00–10.1
17.07.07	1	7.31	0.40	< 0.001	не обн.
оз. Болонь (ст. 13)					
14.09.07	3	6.94–7.25 (7.13)	53.9–70.1 (63.5)	15.6–16.3 (15.9)	23.3–28.9 (26.1)
оз. Удьяль (ст. 14)					
20.09.07	2	6.82–6.91 (6.87)	49.0–53.8 (51.4)	15.8–16.8 (16.3)	30.9–32.3 (31.6)
р. Амур (с. Нижняя Гавань, ст. 15)					
20.09.07	4	7.20–7.29 (7.26)	31.3–46.2 (36.5)	6.9–7.9 (7.6)	22.0–27.0 (24.3)

Примечание. В таблице приведены данные для поверхностных горизонтов и \* – придонных горизонтов; n – количество проб; \*\* – данные для воды, фильтрованной через фильтр с диаметром пор 0.45 мкм; \*\*\* – данные для воды, фильтрованной через фильтр с диаметром пор 0.20 мкм.

ции марганца  $K_{Mn} = 0.25–1.0$ ). Для сравнения, миграционная способность железа значительно выше – 2.8 [25]. Условия миграции Mn в реках Нижнего Приамурья (главным образом Амура) характеризу-

ются низкой минерализацией вод, слабокислой и нейтральной реакцией среды, повышенной окисляемостью. Роль микроорганизмов в данной работе не рассматривается.

Существенное влияние на качество воды Амура, как отмечалось ранее, оказывают воды Сунгари, которые нам удалось проанализировать летом 2009 г. Ее сток составляет в среднем 25 % в общем стоке Амура, и она полностью протекает по территории КНР. В водах, полученных после фильтрации через фильтр с размером пор 0.20 мкм, содержание валового растворенного Mn было незначительное (9.7 мг/дм<sup>3</sup>). Марганец обнаружен преимущественно в составе взвеси (94.5 % от суммы растворенных и взвешенных форм). При малых содержаниях органических лигандов в водах Сунгари количество связанного ими в комплексы (гумусовой природы) ионов Mn<sup>2+</sup> не обнаружено. Для вод Сунгари, по сравнению с водами Амура, Зеи и Буреи, характерны более высокие значения pH водной среды (воды более щелочные), а также содержания взвешенного вещества (до 350 мг/дм<sup>3</sup>). После фильтрации вод Сунгари через фильтр с диаметром пор 0.45 мкм содержание валового растворенного Mn более высокое (до 4 ПДК), а наличие его органических комплексов – до 10 % (от валового растворенного Mn). Доля взвешенных форм марганца составляла 70 %. Отметим, что при низком содержании органических комплексообразователей (гумусовых веществ) в водах Сунгари значительная часть Mn, вероятно, представлена в виде свободных, несвязанных ионов Mn<sup>2+</sup>, а также марганца, связанного в комплексы неорганическими лигандами (карбонатными и гидрокарбонатными).

В водах Уссури (ст. 9) содержание растворенного Mn несколько ниже (15.2–31.1 мкг/дм<sup>3</sup>), чем в водах Амура. Для сравнения, среднее содержание растворенного Mn в реках мира составляет 34 мкг/дм<sup>3</sup> [31]. Количество закомплексованных ионов марганца не превышало 20 %. По сравнению с Амуром воды Уссури характеризуются более низким содержанием гумусовых кислот вследствие меньшей площади заболоченности на территории водосбора и низкими концентрациями Mn в коренных породах.

Содержание марганца в водах Амура в поверхностных и придонных горизонтах несущественно различалось на станциях 5 (по всему гидрологическому створу) и 7 (левый берега реки), но у правого берега и на середине реки на последней станции в придонном горизонте его концентрация была существенно выше, чем в поверхностном горизонте. Для вод Уссури (ст. 9) содержание марганца в придонном горизонте было выше, чем на поверхности у левого берега. Распределение марганца по вертикалям у правого берега и на середине реки Уссури существенно не различалось.

В воде рек Хор и Анюй, бассейны которых приурочены к западному склону Сихотэ-Алиня, в валовом

содержании растворенного Mn, которое было невысоким, органические комплексы составляли около 10 % или вовсе отсутствовали. Для этих рек (по сравнению с Амуром) характерны более высокие значения pH водной среды и низкое содержание взвешенных веществ (0.5–4.9 мг/дм<sup>3</sup>).

Зимой с понижением температуры и, соответственно, с замедлением химических реакций (или вообще их прекращением), с уменьшением вклада притоков происходит значительное сокращение выноса речным стоком органических веществ, а также увеличение влияния подземного стока. Содержание валового растворенного Mn в воде Амура в зимний период в районе Хабаровска (ст. 10) изменялось в широком диапазоне от нулевых отметок до 65 мкг/дм<sup>3</sup>, а связанный гумусовыми веществами марганец в нем или отсутствовал, или его количества едва достигало 10 %. Такие существенные изменения по гидрологическому профилю реки связаны с влиянием притоков Амура – рек Уссури (по правому берегу), Буреи, Зеи и собственно Амура (по левому берегу), а также Сунгари (ближе к середине реки), что нами неоднократно отмечалось в предыдущие годы [16], и с усилением влияния подземного стока в зимний период [13].

В водах крупных озер Удыль (ст. 14) и Болонь (ст. 13), суммарный сток которых в Амур составляет около 8 % от стока самого Амура, содержание валового растворенного Mn значительно и превышает ПДК в 5 и 7 раз, соответственно. Такие высокие концентрации связаны с поступлением растворенных марганцевоорганических соединений с болотных водосборов данных озер. Здесь широко распространены таежные почвы с преобладанием в их профиле гумусовых и железистых соединений как результат иллювиальных процессов [7]. Воды этих озер высокоцветные (120 град и более), с высоким содержанием ГФК (более 50 % от С<sup>p</sup>). Несмотря на такие высокие концентрации органических лигандов, количество несвязанного в комплексы Mn в воде озер Болонь и Удыль остается значительным, а связанного в комплексы с ГФК составляло 22.4 и 31.6 %, соответственно (табл. 2). В отличие от этих двух озер, в водах оз. Петропавловского (ст. 11) содержание органических комплексов марганца было в 2–3 раза ниже. Количество валового растворенного марганца в нем изменялось в более широком диапазоне (1.6–6.8 ПДК). Для данного озера большое значение имеет вклад поверхностного стока с распаханых и мелиорированных почв сельскохозяйственных угодий и сточных вод с городской территории.

По мере движения к лиману у с. Нижняя Гавань (ст. 15) содержание валового растворенного Mn в

воде Амура достигало 3 ПДК, доля связанного Mn в составе РОВ в среднем составляла 24 %. Эти данные еще раз показывают, что комплексообразование марганца с гумусовыми веществами не является доминирующим для поверхностных вод Приамурья.

Количество валового растворенного Mn при выносе вод Амура в Амурский лиман (станции 16–31) характеризовалось нелинейным его падением (рис. 2). Нелинейное распределение марганца в эстуарии Амура отмечалось ранее [33]. О зависимости концентрации  $C^p$  от солености морских вод и неравномерности распределения РОВ для данного периода исследования мы говорили в работе [32]. Количество гумусовых кислот в зоне смешения речной и морской воды при солености 0.1–12 ‰ и смене окислительно-восстановительной обстановки снижалось от 3.31 до 0.38 мг С/дм<sup>3</sup>, а количество марганца в составе хелатных комплексов уменьшалось от 6.1 мкг/дм<sup>3</sup> до минимальных (1.0 мкг/дм<sup>3</sup>) отметок. С увеличением солености (13–20 ‰) и ростом рН происходит падение содержания (в 2–3 раза) валового растворенного Mn (вероятно, переход его во взвесь). При приближении солености к океанической количество валового растворенного Mn в воде остается относительно стабильным – около 0.14–0.19 мкг/дм<sup>3</sup>, а хелатные соединения марганца практически отсутствуют.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание растворенных и взвешенных форм марганца в водах Амура изменяется в широких диапазонах, как вдоль реки, так и по ее гидрологическим створам. Перенос марганца в составе взвесей резко преобладает над растворенным стоком, особенно ниже устья Сунгари по правому берегу (и до середины реки). В водах Амура выше устья Сунгари распределение марганца в поверхностном и придонном горизонтах незначительно изменяется с небольшим его увеличением в придонном горизонте. Ниже по течению Амура (после впадения Сунгари) воды содержали значительно больше марганца по правому

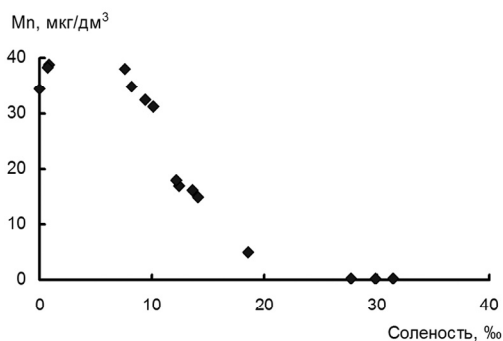


Рис. 2. Распределение валового растворенного Mn в водах Амурского лимана в июне 2007 г.

берегу (и до середины реки), что, вероятно, связано с высвобождением марганца из донных отложений, а также с его выносом в составе взвешенного вещества (и/или сорбированного на взвезях) с водами Сунгари.

Полученные данные о содержании органических комплексов марганца (гумусовой природы) позволили расположить речные воды Приамурья в следующий ряд по убыванию: р. Буряя (33 %) – р. Зея (29 %) – р. Амур, выше устья р. Сунгари (26 %) – р. Амур, нижнее течение (с. Богородское) (24 %) – р. Уссури, 7 км выше устья (17 %) – р. Амур, ниже устья р. Сунгари (15 %) – р. Сунгари, 2 км выше устья (0–10 %).

Крупные припойменные озера в долине Амура характеризовались неоднородностью распределения валового растворенного марганца. Максимальное содержание органических комплексов марганца обнаружено в водах озер Болонь и Удыль – до 22.4–31.6 % (от валового растворенного марганца), что связано с условиями почвообразования на их водосборах и внутриводоемными процессами.

Часть валового растворенного марганца при смешении пресных и соленых вод мигрирует на значительное расстояние от устьевой части Амура и может попасть в прибрежные морские акватории.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит Н.В. Бердникова, Д.В. Авдеева, В.Е. Зазулину (ИТИГ ДВО РАН) за помощь в определении содержаний марганца в поверхностных водах; Е.Г. Иванову (ДВ УГМС), сотрудников ДВ УГМС за помощь при сборе полевого материала; Д.А. Некрасова (ИБМ ДВО РАН), В.М. Шулькина (ТИГ ДВО РАН) за помощь при отборе проб морской воды и предоставление данных о солености; сотрудников ИВЭП ДВО РАН за помощь в проведении экспедиционных работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 266 с.
2. Варенко Н.И., Чуйко В.Т. Роль высшей водной растительности в миграции марганца, цинка, меди и кобальта в Днепродзержинском водохранилище // Гидробиол. журн. 1971. Т. 7, № 3. С. 54–57.
3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
4. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Средний химический состав взвесей рек Мира и питание океанов речным осадочным материалом // Докл. АН СССР, 1978. Т. 238, № 1. С. 225–228.
5. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.

6. Добровольский В.В. Геохимическое земледование. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2008. 207 с.
7. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
8. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. М.: Химия, 1981. 632 с.
9. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.
10. Кондратьева Л.М., Канцыбер В.С., Зазулина В.Е., Боковенко Л.С. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 6. С. 103–114.
11. Коробий Э.Н. Марганец почв в зоне формирования химического состава грунтовых вод Среднеамурской низменности // Природные воды Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Сб. 15. Хабаровск: Хабаровский КНИИ ДВНЦ АН СССР, Приамурский (Хабаровский) фил. геогр. об-ва СССР, 1975. С. 168–172.
12. Красюков В.Н., Лапин И.А. Способ определения гумусовых веществ в природных водах. Авт. св-во. 1385041. БИ. 1988. № 12. С. 175.
13. Кулаков В.В. Месторождения пресных подземных вод Приамурья. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. 152 с.
14. Кулаков В.В., Кондратьева Л.М., Голубева Е.М. Геологические и биогеохимические предпосылки повышенного содержания железа и марганца в воде р. Амур // Тихоокеан. геология. 2010. Т. 29, № 6. С. 66–76.
15. Левшина С. И. Гумусовые кислоты в речных водах Приамурья // География и природ. ресурсы. 2006. № 2. С. 101–105.
16. Левшина С.И. Растворенное и взвешенное органическое вещество вод Амура и Сунгари // Вод. ресурсы. 2008. Т. 35, № 6. С. 745–753.
17. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 268 с.
18. Лукашева И. Л. Сравнительное изучение содержания Мп, Си, Рь и Тi в почвах, воде, растениях, некоторых тканях и биологических жидкостях здоровых и больных атеросклерозом людей района Хабаровска: Автореф. дис ... канд. мед. наук. Хабаровск, 1970. 21 с.
19. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 263 с.
20. Никольская В.В. Морфоскульптура бассейна Амура. М.: Наука, 1972. 295 с.
21. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). М.: Недра, 1968. 331 с.
22. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 303 с.
23. Попкова М.И., Кайдалова Е.Ф., Петровская Н.Ф. и др. Сборник химических анализов изверженных горных пород южной части Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровское кн. изд-во, 1961. 700 с.
24. Росликова В.И. Марганцево-железистые новообразования в почвах равнинных ландшафтов гумидной зоны. Владивосток: Дальнаука, 1996. 291 с.
25. Труфанов А.И., Коробий Э.Н. О миграции железа и микроэлементов в природных водах Среднеамурской впадины // Природные воды Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровский КНИИ ДВНЦ АН СССР, Приамурский (Хабаровский) фил. геогр. об-ва СССР, 1973. № 13. С. 106–119.
26. Труфанов А.И. О миграции железа и марганца в зоне гипергенеза юга Дальнего Востока // Природные воды Дальнего Востока / Вопросы географии Дальнего Востока. Хабаровск: Хабаровский КНИИ ДВО НЦ АН СССР, Приамурский (Хабаровский) фил. геогр. об-ва СССР, 1975. № 15. С. 147–154.
27. Труфанов А.И. Формирование железистых подземных вод. М.: Наука, 1982. 133 с.
28. Хагчинсон Д.Э. Лимнология. М.: Прогресс, 1969. 592 с.
29. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
30. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2011. Т. 38, № 5. С. 606–617.
31. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // The Treatise on Geochemistry. V. 5 (Ed. J.I. Drever, (volume); Exec. eds. H.D. Holland and K.K. Turekian). Elsevier-Pergamon, Oxford, 2003. Ch. 5.09. P. 225–272.
32. Levshina S.I., Karetnikova E.A. Specifics of organic substance geochemical migration and phytoplankton distribution in the system Amur River – Amur Liman // Report on Amur-Okhotsk Project. Kyoto:RIHN, 2008. N 5. P. 47–52.
33. Shulkin V.M., Bogdanova N.N. Metals in water, suspended solids and sediments of the Amur River Estuary // Water-Rock Interaction: Proc. 12th Intern. Symp. on Water-Rock Interaction, Kunming, China, 31 July – 5 August 2007. Taylor & Francis, 2007. P. 543–545.

*Рекомендована к печати О.В. Чудаевым*

### **S.I. Levshina**

#### **Manganese distribution in the surface waters of Middle and Lower Priamurye**

The presented data on distribution and concentrations of manganese dissolved and suspended forms in water of the Amur River and its big tributaries (Zeya, Songhua and Ussuri) were obtained in 2006–2009. Irregularities of manganese distribution in the Amur cross and vertical sections are found to be caused by big tributaries. Manganese organic complexes (of humus nature) in Priamurye surface waters were reported for the first time. Manganese in these complexes did not exceed 33.0 % of total dissolved manganese. Distribution of total dissolved manganese and manganese organic complexes (of humus nature) in the zone of river water mixing with sea waters of the Amur Liman is described.

**Key words:** manganese, surface waters, a water mixing zone, organic matter, humus acids, Amur River, Priamurye.