

УДК 556.535.8

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ СРЕДНЕГО АМУРА*

© 2012 г. В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина

Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск

Ключевые слова: средний Амур, р. Сунгари, трансформация стока, химический состав воды, минерализация, биогенные вещества.



В.П. Шестеркин



Н.М. Шестеркина

Рассмотрена пространственная и сезонная изменчивость химического состава воды среднего Амура. Показано влияние хозяйственной деятельности на содержание растворенных веществ. Установлена приоритетная роль р. Сунгари в выносе минеральных форм азота и фосфора в р. Амур.

Введение

Средний Амур – участок р. Амур от Благовещенска до Хабаровска длиной 980 км, химический состав воды которого в основном формируется водами верхнего Амура, рек Зея, Буряя и Сунгари. В китайской части бассейна среднего Амура проживает около 80 млн чел., построены целлюлозно-бумажные, химические и нефтехимические предприятия,

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00227).

освоены заболоченные земли равнины Саньцзян, существенно возросло использование минеральных удобрений на полях. Значительные преобразования в Китае на фоне низкой численности населения (1,1 млн чел.) в российской части бассейна среднего Амура и слабом его промышленном освоении (исключением является гидроэнергетика) оказывают большое влияние на качество воды Амура – основного источника хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Хабаровск, Амурск и Комсомольск-на-Амуре. Наиболее остро проблемы загрязнения Амура проявились в «химическом» запахе воды зимой 1996–2008 гг., риске загрязнения воды нефтепродуктами после катастрофического паводка на р. Сунгари в августе 1998 г. и нитробензолом после аварии в декабре 2005 г. в г. Цзилинь в Китае, когда в Сунгари попало около 100 т загрязняющих веществ.

Гидрохимическая изученность среднего Амура низкая. Мониторинг качества воды осуществляется Росгидрометом в черте городов Благовещенск и Хабаровск, что недостаточно для такого протяженного участка. Опубликованные ранее материалы о химическом составе воды среднего Амура [1–4] в последние годы дополнены новыми данными, которые позволяют получить более полную картину о содержании и сезонной динамике компонентов химического состава. Основной целью данной работы является изучение пространственной и сезонной изменчивости химического состава воды среднего Амура.

Объекты и методы

Исследования осуществлялись в 2009–2012 гг. у с. Ленинское на трех равномерно распределенных по ширине Амура вертикалях. На участке Амура между Благовещенском и Хабаровском наблюдения проводили на фарватере в июле 2009 г. через 50–100 км, в августе 2011 г. – через 50–200 км, причем на 800, 400, 240 и 58 км при сближении фарватера и правого берега – на трех равномерно распределенных по ширине реки вертикалях. Схема расположения и характеристика основных пунктов наблюдений представлены на рис. 1 и в табл. 1. Пробы воды отбирали батометром из поверхностного слоя.

Аналитические работы осуществляли по общепринятым при гидрохимических исследованиях методам [6]. В экспедиционных условиях определяли величину рН, часть пробы фильтровали через мембранные фильтры и замораживали. Химический анализ проб воды на содержание главных ионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), биогенных (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , HPO_4^{2-} , $\text{Fe}_{\text{общ}}$) и органических (перманганатная окисляемость (ПО), цветность) веществ проводили в Межрегиональном центре экологического мо-



Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений на среднем Амуре.

ниторинга гидроузлов (Аттестат аккредитации № ROCC RU 0001 515988) при ИВЭП ДВО РАН.

В работе использованы гидрологические данные Амурского БВУ, Росгидромета и Центра гидрометеорологических наблюдений провинции Хэйлунцзян, а при оценке степени загрязненности воды – предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воде объектов рыбохозяйственного значения.

Таблица 1. Характеристика основных пунктов наблюдений на среднем Амуре [5]

Пункт наблюдений	Расстояние от Хабаровска, км	Площадь водосбора, км ²
г. Благовещенск	980	493 000
с. Гродеково	959	726 000
с. Поярково	811	741 000
с. Пашково	571	856 000
с. Амурзет	400	864 000
с. Ленинское	230	1 410 000
с. Нижнеспасское	50	1 440 000

Обсуждение результатов

Наблюдения зимой 1998 и 2000–2002 гг. в районе с. Нагибово свидетельствовали о нормальном содержании кислорода, низких концентрациях главных ионов и биогенных веществ, повышенном содержании органического вещества, отсутствии резких различий в распределении концентраций веществ по ширине реки.

Ниже устья р. Сунгари в районе с. Ленинское у левого берега Амура состав воды не менялся, на фарватере (государственной границе) появлялся «химический» запах, отмечались дефицит кислорода [1] и повышение концентраций растворенных веществ [2]. Наибольшие различия в содержании по ширине реки наблюдались для сульфатного иона, нитритного и аммонийного азота, наименьшие – для нитратного азота, ионов кальция и магния. Концентрации аммонийного и нитритного азота в начале зимы превышали значения ПДК в 3,8 и 1,4 раза, в конце – в 6,2 и 1,9 раза, т. е. качество воды в течение ледостава ухудшалось [2]. В районе с. Нижнеспасское различия в содержании растворенных веществ по ширине Амура сглаживались. Концентрации аммонийного азота снижались с 6,2 до 4,2 ПДК, а нитритного были ниже значения ПДК.

Исследования в декабре 2005 г. после аварии в Китае свидетельствовали о более высоком [3], чем ранее, содержании в воде сульфатного иона (37 мг/дм^3) и нитратного азота ($1,9 \text{ мг N/дм}^3$), минерализации воды (197 мг/дм^3). Концентрация фосфора у правого берега была выше, чем у левого в 5 раз, нитратного, нитритного и аммонийного азота – в 8,0; 3,9 и 4,2 раза соответственно, что для последнего составляло 2,8–3,7 ПДК и указывало на хроническое загрязнение р. Сунгари аммонийным азотом.

Загрязнение воды аммонийным и нитритным азотом, повышенное содержание фосфора и нитратного азота в устье р. Сунгари отмечалось в марте 2006 г. [4]. Поэтому концентрации минеральных форм азота у правого берега в районе с. Ленинское были значительно выше, чем у левого, в течение ледостава содержание аммонийного и нитритного азота возрастало в 5,5 и 6,0 раз и составляло 6,0 и 2,5 ПДК соответственно. В районе г. Фуюань различия в содержании этих веществ по ширине Амура были ниже, но концентрации аммонийного и нитритного азота у правого берега продолжали превышать значения ПДК в 2,6 и 1,4 раза соответственно.

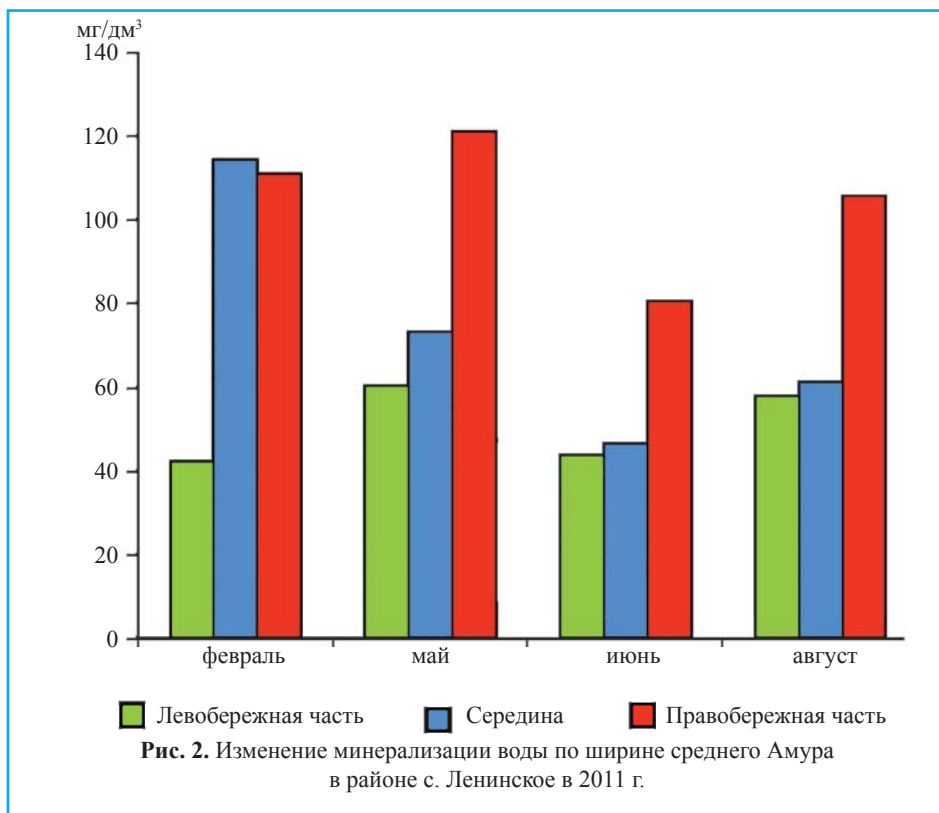
Исследования в марте 2011–2012 гг. свидетельствовали об изменении химического состава амурской воды. Выше устья р. Сунгари они были обусловлены повышением доли стока зарегулированных рек Зeya и Бурея в стоке Амура. Если в январе-феврале 2005–2006 гг. суммарные расходы воды этих рек ниже ГЭС в среднем составляли $1141 \text{ м}^3/\text{с}$, то в 2010–2011 гг. возросли в 1,5 раза. Поступление маломинерализованных вод рек Зeya и Бурея обусло-

Таблица 2. Показатели качества воды среднего Амура у с. Ленинское в 2009–2012 гг.

Дата отбора	Часть реки	M	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	HPO ₄ ²⁻
		мг/дм ³					мг N/дм ³			мг P/дм ³
Зимняя межень										
15.03.2011	Левобережная	42,0	5,4	2,1	0,6	4,8	0,23	0,15	0,002	<0,010
23.02.2012		37,7	5,7	2,1	0,7	3,8	0,21	0,22	0,001	<0,010
15.03.2011	Правобережная	111,0	14,8	8,7	6,5	11,8	1,10	1,00	0,008	0,034
23.02.2012		177,5	22,8	13,8	10,4	29,8	0,84	1,01	0,005	<0,010
Весеннее половодье										
18.05.2009	Левобережная	48,4	6,0	2,1	1,0	12,1	0,14	<0,01	0,001	<0,010
12.05.2010		67,4	8,7	3,2	1,4	9,1	0,14	0,13	0,002	<0,010
17.05.2011		60,2	7,4	3,6	1,7	9,8	0,23	0,06	0,003	<0,010
18.05.2009	Правобережная	123	15,1	10,1	7,8	24,2	<0,04	0,47	0,007	<0,010
12.05.2010		99	12,6	7,5	6,5	24,0	0,19	1,18	0,103	0,023
17.05.2011		121	14,9	10,9	8,2	18,3	0,30	0,55	0,040	0,011
Дождевые паводки										
9.09.2009	Левобережная	53,8	7,1	2,4	1,0	5,7	0,27	0,04	0,001	0,012
12.08.2010		54,4	5,9	2,6	1,0	7,5	0,34	0,05	0,002	<0,010
22.06.2011		43,6	6,2	1,2	0,6	3,8	0,40	0,07	0,001	<0,010
9.09.2009	Правобережная	117,3	14,6	8,9	5,5	18,5	<0,04	0,81	0,001	0,049
12.08.2010		119	15,8	9,7	–	18,8	<0,04	1,16	0,001	0,061
22.06.2011		80,6	10,7	3,2	3,9	13,3	0,21	0,83	0,006	0,011

вило низкие концентрации главных ионов (табл. 2) и высокие – органического вещества (цветность до 55 градусов цветности, ПО – до 10,1 мгО/дм³) и железа (до 0,28 мг/дм³) в воде левобережной части Амура у с. Ленинское. Минерализация воды не превышала 45 мг/дм³, значение рН 6,80.

Как и ранее, минерализация воды ниже устья р. Сунгари резко возрастает в правобережной части Амура. В отличие от прошлых лет, концентрация растворенных веществ в этой части реки изменялась в более широких пределах (см. табл. 2), при этом на середине и у правого берега различия были не столь существенны (рис. 2). Данная ситуация могла быть обусловлена нестабильными расходами воды р. Сунгари из-за деятельности гидротехнических сооружений, о чем в частности свидетельствует значительный интервал колебаний среднемесячных расходов воды р. Сунгари у г. Цзямусы (270 км от устья) в феврале 1973–1987 гг. (от 132 до 850 м³/с). Изменения отмечались в содержании минеральных форм азота. Концентрация аммонийного азота в воде снизилась в среднем в 2,5 раза, а нитратного азота возросла в 1,25 раза. Ниже значения ПДК стало содержание нитритного азота, отмечалось отсутствие в воде «химического» запаха. Эти изменения состава воды на данном участке р. Амур свидетельствуют об определенном



улучшении качества воды р. Сунгари, возможно, за счет появления новых очистных сооружений.

После впадения р. Сунгари минерализация воды в Амуре возрастает в среднем до 90–100 мг/дм³, содержание сульфатных и хлоридных ионов – в 8 и 4 раза соответственно, нитратного и аммонийного азота – в 2,5 и 2,3 раза. Цветность воды и содержание железа снижаются в 1,5 и 1,4 раза соответственно. Максимальная концентрация железа, обусловленная влиянием Бурейского и Зейского водохранилищ, составляла 0,24–0,28 мг/дм³ возле левого берега, у правого 0,10–0,19 мг/дм³, т. е. незначительно превышала значение ПДК (0,1 мг/дм³).

Большие изменения произошли в химическом составе воды среднего Амура в период открытого русла за счет снижения доли стока зарегулированных рек Зeya и Бурeya в стоке среднего Амура. Если до сооружения ГЭС среднемноголетний сток р. Бурeya у с. Каменка в мае составлял 1730 м³/с (1911–1962 гг.), то после окончания строительства 626 м³/с (2009–2011 гг.), т. е. снизился в 2,8 раза. Поэтому до зарегулирования р. Бурeya вода р. Амур в районе с. Пашково в половодье в мае 2002 г. характеризовалась высокой

цветностью (125–190 градусов цветности) и значением ПО (23,9–27,2 мгО/дм³), повышенным содержанием аммонийного азота (0,58–0,83 мгN/дм³) и низкой величиной минерализации. После зарегулирования р. Бурея минерализация амурской воды в 2005 г. возросла в среднем на 10–15 мг/дм³. Среди главных ионов наибольшее увеличение отмечалось для сульфатного иона. Меньше стали цветность воды (60–70 градусов цветности) и значения ПО (12–16 мгО/дм³). Снизилось содержание аммонийного азота в левобережной части Амура у с. Ленинское (см. табл. 2). Минерализация воды данного участка Амура в 2009–2011 гг. в период половодья в среднем составляла 59 мг/дм³ и была на 15–20 мг/дм³ выше по сравнению с зимней меженью.

Значительное влияние на химический состав воды Амура во время половодья оказывает р. Сунгари, характеризующаяся слабощелочной реакцией воды (рН = 7,65), повышенным содержанием нитратного азота и фосфора и загрязнением нитритным азотом (1,2 ПДК) [4]. Поэтому ниже устья р. Сунгари, так же как и зимой, максимальная минерализация воды (см. рис. 2), концентрации главных ионов, нитритного и нитратного азота в амурской воде отмечались у правого берега (см. табл. 2), цветность воды (60–70 градусов цветности) и содержание железа (до 0,18 мг/дм³) – у левого. Наибольшие за наблюдаемый период концентрации фосфора и нитратного азота, загрязнение нитритным азотом (до 5 ПДК) отмечались в многоводном 2010 г., когда сельскохозяйственные поля в Китае оказались под водой, что привело к выносу в Амур минеральных удобрений. Довольно значительным был и сток этих биогенных веществ в мае у Хабаровска (22,3; 681 и 14,3 т/сут соответственно). Более чем в два раза ниже был сток этих веществ в мае 2011 г. Минерализация воды в 2010–2011 гг. в половодье в среднем составляла 87 мг/дм³, т. е. мало отличалась от зимних значений.

Дождевые паводки являются характерной особенностью бассейна Амура, имеют частую повторяемость, паводковые воды затапливают большие территории. Их формирование обусловлено выходом в июле–сентябре южных циклонов и тайфунов, несущих много влаги. В бассейне Амура паводки формируются в бассейнах крупных притоков, за исключением зарегулированной р. Бурея, меньше р. Зея (в июле 2007 г. наибольший приток воды составил 15 200 м³/с, а сбросы через плотину 4700 м³/с).

В июле–августе 1998 г. обильные осадки (2–3 нормы) в Китае сформировали на р. Сунгари паводки редкой повторяемости (1 раз в 100–150 лет). В районе Харбина наибольший расход воды составлял 17 400 м³/с [7]. С затопленных сельхозугодий паводковыми водами в Амур было вынесено большое, ненаблюдаемое ранее, количество растворенных веществ [4]. В августе на пике паводка на 122 км выше Хабаровска минерализация воды на фарватере составляла 83,5 мг/дм³, у левого берега 77,3 мг/дм³. Значительными были различия в содержании нитратного азота

(0,41–0,68 мг N/дм³) и фосфора (0,022–0,085 мг P/дм). Максимальный сток фосфора и нитратного азота на пике паводка у Хабаровска при расходе воды 31 900 м³/с составил 304 и 2687 т/сут соответственно. Повышенной была концентрация нитратного азота во время паводков в 2002 и 2005 гг. до 0,92 и 0,64 мг N/дм³ соответственно.

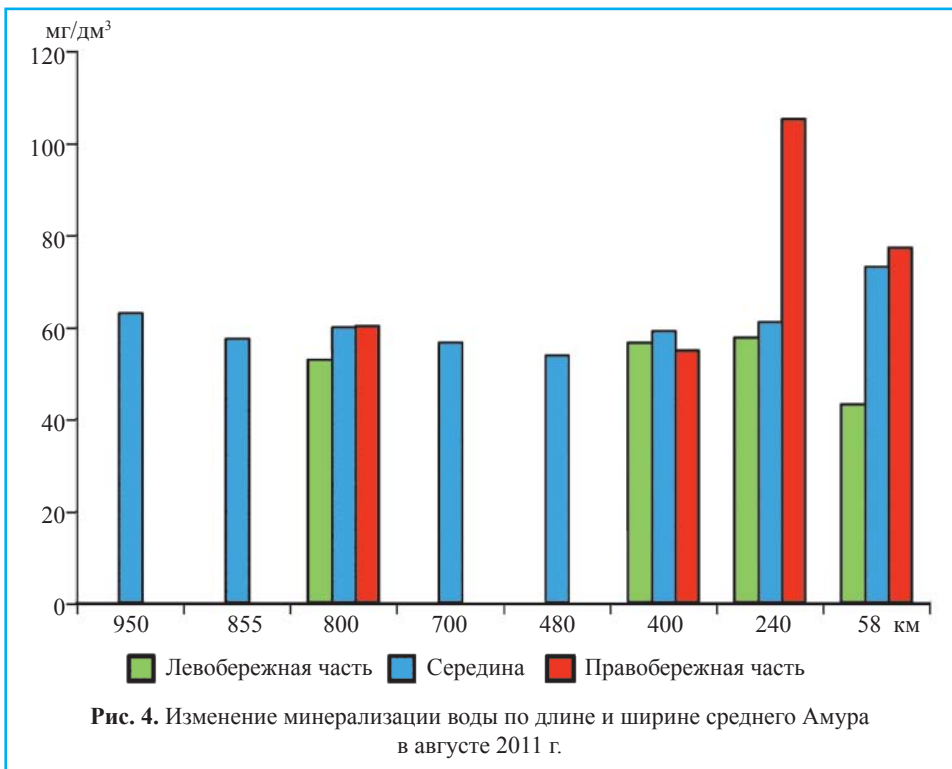
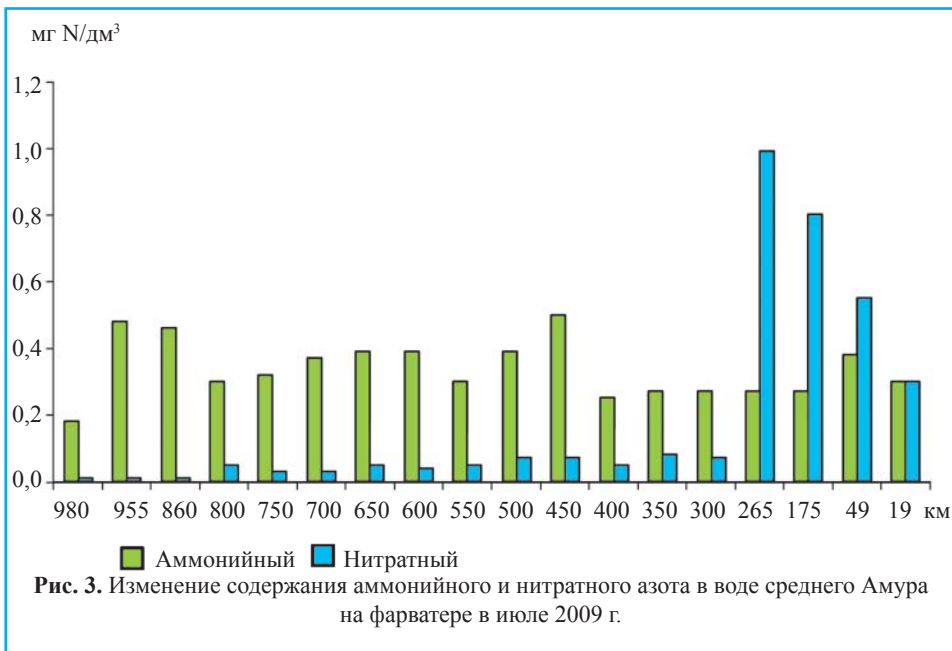
Наблюдения в июле 2009 г. на участке Амура между устьями рек Зeya и Сунгари свидетельствовали о больших различиях в минерализации воды (33,6–59,6 мг/дм³), содержании аммонийного (0,18–0,46 мг N/дм³) и нитратного азота (0,01–0,08 мг N/дм³), фосфора (0,001–0,003 мг P/дм³), обусловленных боковой приточностью. Ниже устья р. Сунгари минерализация воды возросла до 70 мг/дм³, а концентрация сульфатного иона до 16,6 мг/дм³, что вызвало изменение гидрокарбонатно-кальциевого состава воды на гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый. Доминирующей формой азота стала нитратная (рис. 3).

Повышенные концентрации сохранялись в середине июля и сентябре 2009 г., когда сформированные в бассейне р. Сунгари паводки обусловили на их пике высокую минерализацию воды (в 2 раза) у правого берега Амура по сравнению с левым. Минерализация амурской воды в среднем составила 86 мг/дм³, т. е. была такой же, как и в зимнюю межень. Крайне неравномерно распределялось по ширине реки содержание нитратного азота и фосфора (см. табл. 2). В районе Хабаровска сток этих веществ в августе составил 703 и 39 т/сут. Учитывая продолжительность паводка (88 дней) можно говорить о значительном выносе этих веществ.

Аналогичное распределение растворенных веществ в амурской воде ниже устья р. Сунгари наблюдалось в 2010 г. Правобережная часть реки, как и ранее, характеризовалась повышенными значениями рН = 7,65; содержанием главных ионов, фосфора и нитратного азота (см. табл. 2) и более низкими железа (0,02 мг/дм³) и цветности воды (15 градусов цветности). Минерализация воды составляла в среднем 96,7 мг/дм³, т. е. была выше, чем зимой и весной.

Во время формирующихся на верхнем Амуре паводков различия в распределении растворенных веществ по ширине среднего Амура более сглажены, в большей степени это относится к главным ионам. На пике паводка в июне 2011 г. минерализация воды ниже устья р. Сунгари у правого берега Амура была выше на 37 мг/дм³, чем у левого, среднее значение составляло 57 мг/дм³. Различия в распределении биогенных веществ более существенны (см. табл. 2).

Наблюдения в августе 2011 г. на участке между устьями рек Зeya и Сунгари свидетельствуют о небольших различиях в минерализации воды (53,1–63,2 мг/дм³), низком содержании аммонийного (0,16–0,28 мг N/дм³) и нитратного азота (0,03–0,11 мг N/дм³), железа (0,07–0,13 мг/дм³). Ниже устья р. Сунгари минерализация воды возле правого берега Амура возрастала до 105 мг/дм³ (рис. 4), а среднее значение достигало 75 мг/дм³. Среди биоген-



ных веществ большие различия в распределении по ширине Амура отмечались для нитратного азота. Возле левого берега его содержание составляло 0,08 мг N/дм³, а у правого 1,04 мг N/дм³.

Выводы

Основное влияние на пространственную и сезонную изменчивость химического состава воды среднего Амура на современном этапе оказали гидроэнергетическое строительство в российской части и интенсивное развитие промышленности и сельскохозяйственной деятельности в китайской части бассейна Амура.

Зарегулирование рек Зея и Бурея обусловило понижение величины минерализации, концентраций главных ионов, повышение содержания органических веществ в воде р. Амур на участке между устьями рек Зея и Сунгари в зимний период.

Развитие промышленности и сельского хозяйства в бассейне р. Сунгари является основным фактором увеличения стока растворенных веществ воды р. Амур, загрязнения его вод в зимнюю межень аммонийным, а в период половодья – нитритным азотом, повышенного содержания нитратного азота и фосфора. Снижение содержания аммонийного азота в зимнюю межень 2011–2012 гг. свидетельствует об определенном улучшении качества воды р. Сунгари.

Наибольшее поступление фосфора и минеральных форм азота в Амур отмечается во время паводков, сформированных в бассейне р. Сунгари.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ДВ УГМС, принимавших участие в отборе проб воды у с. Ленинское в 2009–2012 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шестеркин В.П. Зимний кислородный режим вод Амура // География и природные ресурсы. 2004. № 1. С. 148–151.
2. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Роль р. Сунгари в формировании химического состава воды Среднего Амура в зимнюю межень // Биогеохимические и гидроэкологические оценки наземных и пресноводных экосистем. Вып. 13. Владивосток: Дальнаука, 2003. С. 106–120.
3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А., Ри Т.Д. Трансграничное загрязнение Амура в зимнюю межень 2005–2006 гг. // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 40–44.
4. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды р. Сунгари // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 1. С. 50–53.

5. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 19. Бассейн Амура (без бассейнов Шилки, Аргуни, Амазара) и Уды. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 411 с.
6. РД 52.18.596 Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей среды, с изменениями № 1 к РД 52.18.595-96.
7. *Li X., Zhang W.* The Flood of the Nenjiang river and Songhua in 1998 and the comprehensive management of the river basis // *Chinese Geographical science*. 1999. V. 9. N 3. P. 193–198.

Сведения об авторах:

Шестеркин Владимир Павлович, к. г. н., ведущий научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65; e-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Шестеркина Нина Михайловна, научный сотрудник, Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИВЭП ДВО РАН), 680000, г. Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65; e-mail: shesterkina@ivep.as.khb.ru