

**МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ И СТОКА ЖЕЛЕЗА В ВОДЕ
СРЕДНЕГО АМУРА В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ**

В.П. Шестеркин, В.С. Таловская, Н.М. Шестеркина

ФГБУН Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Ким Ю Чена 65, г. Хабаровск, 680000;
e-mail: shesterkin@ivep.as.khb.ru

Поступила в редакцию 4 апреля 2012 г.

Рассмотрена динамика содержания и стока разных форм железа в воде среднего Амура в зимнюю межень 1949–2012 гг. Установлено влияние хозяйственной деятельности на содержание и сток валового железа, доминирование концентрации растворенного железа в воде левобережной части среднего Амура, а взвешенного железа – правобережной части. Отмечено снижение содержания валового железа в воде р. Амур у Хабаровска в 2011–2012 гг. по сравнению с 1949–1975 гг. в 1.3 раза и увеличение его стока в 2.1 раза. Показана приоритетная роль зарегулированных рек Зея и Буряя на динамику содержания и стока растворенного железа. Установлено, что содержание валового железа в подледной воде р. Амур не превышает 3 ПДК_в, а растворенного железа – 4 ПДК_{в.р.}, что не позволяет говорить о значительном загрязнении вод Амура.

Ключевые слова: водохранилища, зимняя межень, содержание, сток, железо валовое, растворенное и взвешенное, средний Амур.

ВВЕДЕНИЕ

Амур – одна из крупнейших трансграничных рек Евразии, сток которой составляет более половины общего стока всех рек Охотского побережья. Большие экономические преобразования в бассейне среднего Амура в последние годы (гидротехническое строительство, мелиорация и др.) не могли не оказать влияния на сток веществ, в том числе и железа – широко распространенного элемента земной коры, который принимает активное участие в биохимических процессах в живых организмах, лимитирует продуктивность и качество речных вод. Основными источниками его поступления в русловую сеть являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их растворением. Много железа выносится с подземными водами, сточными водами горнодобывающих, металлургических и химических предприятий.

В речной воде железо находится в растворенном, взвешенном и коллоидном состояниях. Во взвешенную форму принято выделять частицы размером более 0.45 мкм [7], представляющие собой железосодержащие минералы и сорбированные на взвеси соединения железа. Растворенное железо может нахо-

диться в ионной форме, в виде комплексных соединений с минеральными и органическими веществами. На формы железа и их содержание большое влияние оказывают значения pH и Eh, концентрации растворенного кислорода, сероводорода, диоксида углерода, органических кислот, а также микроорганизмы, окисляющие и восстанавливающие железо. Для обозначения суммарной концентрации растворенных форм железа используют термин “железо общее”, предельно допустимая концентрация которого в воде для рыбохозяйственного использования (ПДК_{в.р.}) составляет 0.1 мг/дм³ [7]. Под валовым содержанием подразумевают суммарное содержание в воде растворенных и взвешенных форм железа, предельно допустимая концентрация которого (ПДК_в) в воде для культурно-бытового и питьевого водоснабжения составляет 0.3 мг/дм³.

По данным Росгидромета, содержание железа общего в воде большинства водных объектов Приамурья значительно превышает ПДК_{в.р.} В воде р. Амур ниже г. Благовещенск его наибольшая концентрация в 2011 г. составляла 0.56 мг/дм³ [2]. Отмечено резкое возрастание и последующее снижение стока растворенного железа в р. Амур во второй половине 1990-х гг. вследствие изменений климатичес-



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

Стрелками указаны основные районы исследований.

ких условий, которые привели к деградации многолетней мерзлоты близ южной границы ее распространения [8], повышенное содержание его зимой из-за 100 % преобладания подземных вод в питании реки [3]. Установлено доминирование концентрации растворенного железа над взвешенным железом [4], хотя материалы ТИГ ДВО РАН свидетельствуют об обратном [12–14]. Сделано предположение о снижении продуктивности вод Охотского моря вследствие уменьшения стока растворенного железа [15]. Такие значительные расхождения в содержании железа общего в воде р. Амур обусловили появление данной работы, в которой дана оценка содержания разных форм железа в зимнюю межень (декабрь–март) – период, когда сток взвешенных веществ от годового стока составляет менее 0.9 % [6].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на р. Амур у г. Хабаровска в зимнюю межень 2003–2012 гг. 1–2 раза в месяц на 5-ти равномерно расположенных по ширине реки пунктах. На р. Амур у с. Ленинское наблюдения осуществлялись на 3-х равномерно распределенных по ширине реки пунктах: в марте 2002 г. – от российского берега до фарватера, в декабре 2005 и марте 2006, 2011, 2012 гг. – от российского до китай-

ского берега. Эпизодические наблюдения проводились в нижнем течении рек Зeya, Бурея, Сунгари и Усури (рис. 1). Пробы воды отбирались с поверхности, анализировались в аккредитованном Межрегиональном центре экологического мониторинга гидроузлов (Аттестат аккредитации № ROCC RU 0001 515988) при ИВЭП ДВО РАН. Содержание валового железа определялось без фильтрации, а растворенного железа – после фильтрации через мембранный фильтр (0.45 мкм), фотометрическим методом в соответствии с РД 52.24.358–2006. Содержание взвешенного железа определялось по разности между содержанием валового и растворенного железа.

В данной работе, помимо авторских материалов, использованы опубликованные в “Гидрологических ежегодниках” данные наблюдений Росгидромета, которые осуществляются на р. Амур у Хабаровска с 1949 г., а также материалы Амурского бассейнового водохозяйственного управления по гидрологическому режиму Зейского и Бурейского водохранилищ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эпизодические наблюдения Росгидромета на середине Амура в районе Хабаровска в зимнюю межень 1943–1944 и 1949–1975 гг. свидетельствуют о

большой амплитуде колебаний содержания железа в воде ($0.17\text{--}1.45\text{ мг/дм}^3$). По мнению авторов [3], повышенные концентрации железа были обусловлены преобладанием в питании реки подземных вод с высоким содержанием двухвалентного железа, которое при поступлении в Амур не полностью окислялось из-за низкой концентрации растворенного кислорода в воде [9] и осаждалось на дно в виде гидроксида железа. Следует заметить, что в эти годы при определении железа пробы воды не фильтровали [1], т.е. в них определялось валовое железо. В марте, наиболее изученном месяце ледостава (было отобрано 50 % от общего количества зимних проб), среднее многолетнее содержание железа составляло $0.68 \pm 0.26\text{ мг/дм}^3$, а среднемноголетний сток – 47.7 т/сутки .

С появлением Зейского водохранилища среднемесячные расходы воды р. Зеи в марте 1979–1987 гг. возросли в 6 раз по сравнению с 1949–1975 гг., а в р. Амур – 1.6 раза [10]. В результате этого в амурской воде произошло сглаживание амплитуды колебаний содержания валового железа ($0.54\text{--}1.36\text{ мг/дм}^3$) и увеличение его среднемноголетнего значения до $0.91 \pm 0.34\text{ мг/дм}^3$. Повышение было обусловлено активизацией эрозионных процессов зимой вследствие нестабильных расходов воды р. Зеи, которые приводили к росту поступления взвешенных веществ. В результате этих процессов возрос сток валового железа в среднем до 65.9 т/сутки (рис. 2). Поэтому влияние Зейского водохранилища на сток валового железа в эти годы было существенным.

В 1988–2003 гг. в содержании и стоке валового железа (рис. 2) отмечаются значительные изменения, которые могли быть обусловлены, с одной стороны, замедлением эрозионных процессов в русле реки, а с другой стороны, активизацией хозяйственной деятельности в китайской части бассейна Амура. Поэтому в 1988–1993 гг. среднегодовое со-

держание валового железа и его сток резко снизились до $0.27 \pm 0.15\text{ мг/дм}^3$ и 42.5 т/сутки , а в 1995–2003 гг. также резко возросли до $0.86 \pm 0.40\text{ мг/дм}^3$ и 120.2 т/сутки . Максимальная концентрация валового железа, а соответственно и его сток отмечались в марте 1996 г. (269 т/сутки), а минимальные – в марте 1990 г. (17.8 т/сутки). В многолетней динамике стока выделяются 1995 и 1996 гг. с максимальными значениями (рис. 2), которые могли быть обусловлены преобладанием водного стока р. Сунгари в стоке среднего Амура. Данное предположение основано на высокой водности Амура в эти годы: в зимнюю межень 1994–1995 и 1995–1996 гг. расходы воды у Хабаровска в среднем составляли 2748 и 1993 $\text{м}^3/\text{сек}$, тогда как расходы воды р. Зеи ниже Зейской ГЭС – 979 и 894 $\text{м}^3/\text{сек}$, соответственно.

Наблюдения ИВЭП ДВО РАН на р. Амур в марте 2002 г. в районе с. Ленинское свидетельствуют о неравномерном распределении содержания валового железа по ширине реки (рис. 3), пониженной концентрации у Благовещенска ($0.30\text{--}0.39\text{ мг/дм}^3$) и повышенной – у с. Ленинское ($0.67\text{--}0.75\text{ мг/дм}^3$). Такие большие различия в концентрациях этого вещества по длине Амура обусловлены влиянием рек Зея и Сунгари, содержание валового железа в воде которых в это время достигало 0.66 и 0.75 мг/дм^3 , соответственно. Ниже значения ПДК_в с равномерным распределением по ширине реки было содержание этого вещества в амурской воде в декабре 2005 г. после аварии на химическом комбинате в г. Цилянь. Более высокие, такие же, как и в воде р. Сунгари (до 0.39 мг/дм^3), отмечались концентрации валового железа в воде р. Амур в марте 2006 г. (рис. 3).

Значительные изменения в содержании и стоке валового железа в воде Амура произошли после сооружения Бурейской ГЭС, когда наряду с увеличением водности р. Буреи в 1.9 раза возросло содержание

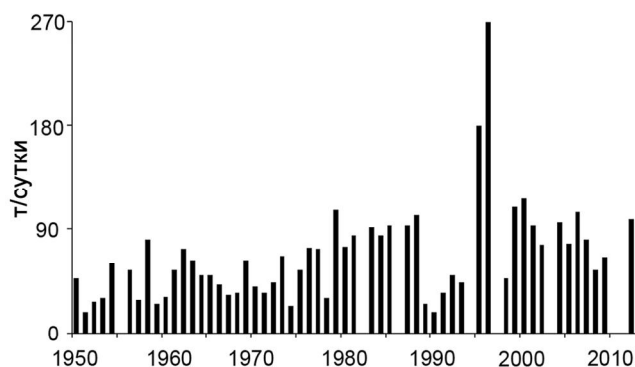


Рис. 2. Сток валового железа в воде р. Амур у г. Хабаровска в марте 1950–2012 гг.

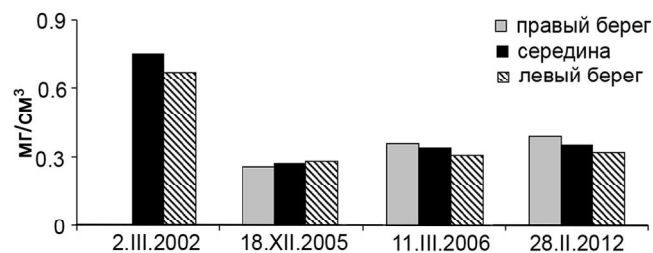


Рис. 3. Распределение содержания валового железа по ширине р. Амур у с. Ленинское в зимнюю межень 2002–2012 гг.

валового железа, что вызвало повышение его стока. Если в марте 1949–1988 гг. при среднемноголетнем расходе воды 10.9 м³/сек сток составлял 0.15 т/сутки, то в марте 2007 г. при расходе воды 485 м³/сек – 12.6 т/сутки, т.е. вырос на два порядка. Высокие расходы воды р. Буреи в марте 2009–2012 гг. (575–764 м³/сек) при стабильной концентрации валового железа могли обусловить повышение стока валового железа до 15–18 т/сутки. Поэтому в настоящее время сток этой формы железа зимой во многом определяется водностью рек Зeya и Бурея, расход воды которых ниже ГЭС находится в пределах 1380–1810 м³/сек. В этих условиях влияние подземных вод на содержание и сток валового железа в воде р. Амур практически не сказывается.

Наблюдения в районе Хабаровска в январе 2005 г. выявили влияние зашугованности русла Амура на содержание валового железа: в правобережной части реки концентрации достигали 3.64 мг/дм³, а на остальных участках находились в пределах 0.46–0.63 мг/дм³. Повышенное содержание железа на зашугованных участках Амура фиксируется и в настоящее время. Поэтому значения более 1.0 мг/дм³ в амурской воде в отдельные годы (1975, 1977, 1996 и др.) могли быть обусловлены данным явлением.

В маловодные зимы (2008–2009 гг.) содержание валового железа в воде р. Амур изменялось в пределах 0.23–0.73 мг/дм³, а среднее значение составляло 0.47 мг/дм³. Такое снижение концентрации валового железа могло быть обусловлено значительным преобладанием стока рек Зeya и Бурея (до 90 %) над стоком остальных притоков среднего Амура. Но даже при уменьшении водности и концентрации валового железа его сток в марте 2008 и 2009 гг. составлял в среднем 58.3 т/сутки и был выше, чем в 1964–1967 и 1989–1993 гг. (рис. 2).

В среднюю по водности зимнюю межень 2011–2012 г. содержание валового железа в воде р. Амур было выше и изменялось в пределах 0.33–0.87 мг/дм³, среднее значение составляло 0.52 мг/дм³. В декабре при равномерном распределении концентрация была наименьшей за зиму, а сток составлял 65.7 т/сутки. Сток валового железа увеличился до 98.3 т/сутки. В течение ледостава содержание валового железа постепенно возрастало, причем в правобережной части Амура в большей степени, чем в левобережной части. Неоднородное распределение было обусловлено влиянием р. Усури, в воде которой концентрация валового железа изменялась от 0.48 до 0.83 мг/дм³, причем наибольшее значение у левого берега реки могло быть обусловлено активи-

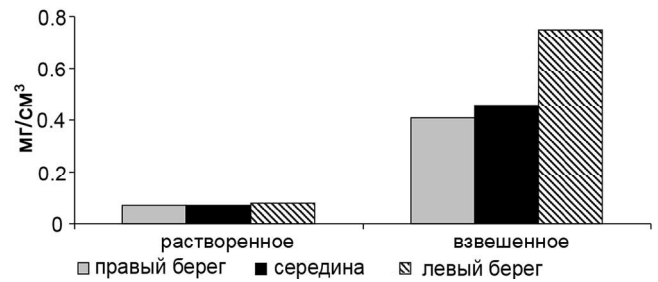


Рис. 4. Распределение содержания растворенного и взвешенного железа по ширине р. Усури у с. Казакевичево в феврале 2012 г.

зацией хозяйственной деятельности в китайской части бассейна р. Усури (рис. 4).

Первые данные о содержании растворенного железа в подледной воде Амура были получены в 2008–2009 гг. у Хабаровска в ходе выполнения российско-японского проекта “Амур-Охотск”. Было установлено, что содержание растворенного железа в амурской воде у Хабаровска изменяется от 0.20 до 0.28 мг/дм³ [5]. В 2009–2012 гг. концентрации изменялись в более широких пределах (0.04–0.36 мг/дм³), а среднее значение составило 0.21 мг/дм³. Отмечался постепенный рост содержания растворенного железа (табл.). В декабре 2011 г. растворенные формы железа составляли 24.4 % от валового, в январе 2012 г. – 49 %, в марте – 42 %. Повышение доли растворенных форм в стоке железа было обусловлено возрастанием расходов воды р. Зeya. У с. Мазаново с 15 по 19 ноября уровень воды вырос на 229 см для получения максимальной выработки электроэнергии на Зейской ГЭС. Максимальное содержание отмечалось в конце зимы в левобережной части, а минимальное – в начале ледостава в правобережной части реки. Подобная динамика была обусловлена различиями концентраций в воде основных притоков. Повышенным содержанием растворенного железа характеризуются зарегулированные реки Зeya (до 0.21 мг/дм³) и Бурея (0.29 мг/дм³), отличающиеся от остальных водотоков высокими цветностью воды (60–80°) и величиной перманганатной окисляемости (10–12 мг О/дм³), т.е. основной формой миграции железа являются комплексы с гуминовыми кислотами. Меньше его содержится в воде р. Сунгари (0.1–0.19 мг/дм³) и р. Усури (0.04–0.08 мг/дм³). Поэтому на пограничных участках среднего Амура наибольшие концентрации растворенного железа в зимнюю межень отмечаются в воде левобережной части реки (0.24–0.28 мг/дм³).

Сток растворенных форм железа в марте 2010 и 2011 гг. в среднем составлял 43.3 т/сутки, т.е. мало

Таблица. Содержание железа (в мг/дм³) в воде р. Амур у г. Хабаровска в зимнюю межень 2011–2012 гг. (растворенное железо в числителе, взвешенное – в знаменателе).

Расстояние от правого берега	14.XII	28.XII	12.I	26.I	22.II	5.III	22.III
50	<u>0.04</u>	<u>0.14</u>	<u>0.14</u>	<u>0.09</u>	<u>0.10</u>	<u>0.12</u>	<u>0.12</u>
	0.31	0.25	0.40	0.51	0.60	0.62	0.75
200	<u>0.03</u>	<u>0.12</u>	<u>0.19</u>	<u>0.22</u>	<u>0.23</u>	<u>0.24</u>	<u>0.22</u>
	0.37	0.28	0.31	0.40	0.58	0.73	0.47
400	<u>0.12</u>	<u>0.11</u>	<u>0.19</u>	<u>0.22</u>	<u>0.28</u>	<u>0.28</u>	<u>0.24</u>
	0.25	0.25	0.14	0.41	0.21	0.20	0.45
600	<u>0.15</u>	<u>0.21</u>	<u>0.24</u>	<u>0.26</u>	<u>0.28</u>	<u>0.29</u>	<u>0.24</u>
	0.26	0.13	0.12	0.17	0.20	0.16	0.23
800	<u>0.17</u>	<u>0.25</u>	<u>0.27</u>	<u>0.31</u>	<u>0.35</u>	<u>0.36</u>	<u>0.31</u>
	0.31	0.12	0.13	0.25	0.26	0.23	0.29

отличался от стока валового железа в 1950–1975 гг. При более низкой водности Амура в декабре 2011 г. он был на уровне 21.0 т/сутки, в феврале–марте 2012 г. – 40.5 т/сутки.

Сравнение концентраций растворенного железа в амурской воде в период ледостава и открытого русла свидетельствует о более низких их значениях в мае–октябре. В 2010–2011 гг. концентрации растворенного железа в амурской воде изменялись в пределах 0.01–0.17 мг/дм³ у с. Ленинское и 0.01–0.21 мг/дм³ у г. Хабаровска, в среднем не превышали значения ПДК_{в.р.}.

Содержание взвешенного вещества в амурской воде в зимнюю межень значительно ниже, чем в период открытого русла. В начале ледостава в подледной воде преобладает взвешенное железо (табл.). В дальнейшем по мере увеличения доли стока рек Зeya и Бурея в стоке среднего Амура содержание взвешенного железа в левобережной части реки снижается и перестает доминировать. В правобережной части реки вследствие влияния р. Усури его содержание в течение ледостава возрастает в 3.6 раза с 0.21 до 0.75 мг/дм³. Изменяются и соотношения между стоком этих форм железа: в конце декабря–начале января различия в стоке отсутствуют, в остальное время преобладает сток взвешенного железа.

Железо в ионной форме наименее изучено, появляется в воде при изоляции отдельных участков реки от основного русла ледяными перемычками. В результате этого создается дефицит растворенного в воде кислорода, что способствует поступлению железа из донных отложений в водную толщу. Подобные явления постоянно отмечаются на многих водных объектах Приамурья. В феврале 1976 г. в воде р. Одан (бассейн оз. Эворон) содержание двухвалентного железа достигало 50 мг/дм³ [11], в изолированной от основного русла Амура протоке Бол. Шаман-

ка – 13.7 мг/дм³. Подобная ситуация имела место и в январе 2006 г. в районе с. Малмыж, когда при снижении уровня воды р. Амур расположенная у левого берега яма размыва оказалась изолированной от основного русла реки, что привело к высокой концентрации в подледной воде (мг/дм³): марганца – 11.0 мг/дм³, меди – 0.153 [3]. Вне всякого сомнения, значительным было содержание в подледной воде железа, о чем свидетельствовал бурый осадок гидроокиси железа на дне емкости с пробой воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание различных форм железа в воде среднего Амура в зимнюю межень 1949–2012 гг. претерпело большие изменения, которые обусловлены развитием гидротехнического строительства в российской части бассейна Амура и активизацией хозяйственной деятельности в китайской его части.

В поведении валового железа отмечено снижение концентраций в 1.3 раза и увеличение стока в 2.1 раза в воде р. Амур в зимнюю межень 2011–2012 г. по сравнению с 1949–1975 гг., уменьшение амплитуды колебаний в 2.5 раза.

Содержание растворенного железа в воде р. Амур составляет 24–49 % от валового, не превышает 4 ПДК и преобладает в левобережной части Амура от устья р. Сунгари до Хабаровска. Основными источниками растворенного железа являются зарегулированные реки Зeya и Бурея.

Концентрация взвешенного железа доминирует в правобережной части Амура, в течение ледостава возрастает в 3.6 раза за счет влияния р. Усури.

Исследования выполнены при поддержке проектов РФФИ 10-05-00227 и МНТЦ 4008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство

- по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 269 с.
2. Государственный доклад об охране окружающей среды и экологической ситуации в Амурской области за 2011 год / Под ред. В.Ю. Офицера. Благовещенск: МПР Амурск. обл., 2012. 200 с.
 3. 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. № 6. С. 66–76.
 4. Матюшкина Л.А., Левшина С.И., Юрьев Д.Н. О миграции железа в почвах и поверхностных водах Нижнего Приамурья // Биогеохимические и экологические исследования наземных и водных экосистем. Вып. 16. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 185–194.
 5. Махинов А.Н., Ким В.И., Шестеркин В.П., Ширайва Т., Нагао С. Проект «Амур–Охотск»: результаты российско-японских исследований в нижнем течении реки Амур и Амурском лимане // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 4. С. 3–13.
 6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 591 с.
 7. РД 52.24.358–2006. Массовая концентрация железа общего в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с 1.10-фенантролином.
 8. Шапов В.В., Кулаков В.В., Ониши Т. Аномальная динамика железа в реках системы Амура в конце XX века: вероятные причины // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. 2008. № 10. С. 72–78.
 9. Шестеркин В.П. Зимний кислородный режим Амура // География и природные ресурсы. 2004. № 1. С. 148–151.
 10. Шестеркин В.П. Зимний гидрохимический режим Амура // Вестн. ДВО РАН. 2007. № 4. С. 35–43.
 11. Шестеркина Н.М., Иванов А.В. О формировании химического стока поверхностных вод бассейна оз. Эворон // Экосистемы юга Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 122–137.
 12. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В. Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 4. С. 428–439.
 13. Чудаева В.А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. 392 с.
 14. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2011. № 5. С. 606–617.
 15. Narita H, Shiraiwa T., Nakatsuka T. Human activities in northeastern Asia and their impact on the biological productivity in north Pacific Ocean / Report on Amur-Okhotsk project // Proc. of the Kyoto Workshop, Kyoto: RHN, 2004. N. 2. P. 1–24.

Рекомендована к печати О.В. Чудаевым

V.P. Shesterkin, V.S. Talovskaya, N.M. Shestrkina

Long-standing dynamics of iron content and flow in the water of the middle Amur River during the lowest winter water level

The dynamics of different-formed iron content and flow in the water of the middle Amur River during the lowest winter water level in the period of 1949-2012 is studied. It has been established that economical activity affects the iron content and overall flow. The concentration of the dissolved iron dominates in the water of the left side of the middle Amur and suspended iron is predominant in the right-bank part. A decrease in the content of the overall iron in the Amur River water was marked in 2011-2012 as compared with 1949-1975 by the factor 1.3 and increase in its flow 2.1 times. The foreground role of the regulated Zeya and Bureya rivers on the dynamics of the content and flow of the dissolved iron is shown. It has been established that the content of the overall iron in the subglacial water of the Amur River does not exceed 3 MPC_m and that of the dissolved iron – 4 MPC_{md} that makes it impossible to speak about considerable contamination of the Amur River water.

Key words: water-storage basin, winter lowest water level, content, flow, overall iron, dissolved and suspended iron, middle Amur River.