

## ГИДРОЛОГИЯ

УДК 551.579

Е.А. Антонова

ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА  
В ВОДЫ БАСЕЙНА Р. КАМЫ

Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; e-mail: e-le-na\_aea@rambler.ru

Дана характеристика основных техногенных источников загрязнения вод бассейна р. Камы в Пермском крае и приведены количественные показатели загрязнения рек железом и марганцем.

Ключевые слова: техногенные источники загрязнения; железо; марганец.

Значительная роль в формировании химического состава природных вод Пермского края принадлежит антропогенному загрязнению. В отличие от влияния природных факторов, антропогенные оказывают свое иногда существенное воздействие за непродолжительный период времени и могут значительно исказить природный фон. К основным антропогенным факторам относятся разработка месторождений полезных ископаемых и деятельность промышленных предприятий.

Промышленность является ведущей отраслью Урала в целом и Пермского края в частности. Освоение региона началось с возникновения первых соляных промыслов. В последующие столетия появились медеплавильные и чугунолитейные заводы, угольная, лесозаготовительная, горно-химическая и нефтедобывающая отрасли. В XX в. промышленность региона стала многоотраслевой. Установилось определенное равновесие между добывающими и перерабатывающими отраслями. Сформировался индустриальный комплекс с мощной энергетикой, нефтепереработкой, электротехнической промышленностью, разнообразным машиностроением, химической, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной отраслями, производством строительных материалов, развитой легкой и пищевой промышленностью. Со второй половины XX в. наметилось сокращение использования сырьевых ресурсов. Передовые рубежи в экономике заняли машиностроение и металлообработка, химическая и нефтехимическая, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная отрасли [9].

Первым притоком, с водами которого в Каму попадают антропогенное железо и марганец, является Вишера. В ее бассейне располагаются производственные площадки наиболее крупного прииска алмазов и золота. На прииске АО «УралАЛМАЗ» осуществляет деятельность по добыче ископаемых дражным способом. Основные участки добычи расположены на реках Б. Щугор, Б. Колчим, С. Колчим, Талая. Режим работы драг, связанный с добычей, длится обычно с апреля по ноябрь. При проведении дражных разработок не только меняются гидрологический и гидрохимический режимы водных объектов, сильно подвержена изменению вся прибрежная полоса реки на значительной площади. В пульпе драг и сезонных обогатительных фабрик, кроме высоких концентраций взвешенных веществ, наблюдается повышенное содержание железа, что не может не сказаться на содержании металлов в водах рек, подверженных влиянию прииска (табл. 1).

Таблица 1

Среднегодовое содержание металлов (мг/л) на реках, подверженных влиянию прииска  
АО «УралАЛМАЗ» (фильтрованные пробы) [10]

| Точка отбора                          | Железо | Цинк  | Марганец | Медь  |
|---------------------------------------|--------|-------|----------|-------|
| Р. Б. Колчим, выше дражных разработок | 0,061  | 0,005 | 0,003    | 0,002 |
| Р. Б. Колчим, устье                   | 4,18   | 0,014 | 0,040    | 0,005 |
| Р. Б. Щугор, выше дражных разработок  | 0,28   | 0,007 | 0,003    | 0,001 |
| Р. Б. Щугор, устье                    | 1,55   | 0,017 | 0,021    | 0,004 |
| Р. Вишера, выше устья р. Б.Щугор      | 0,07   | 0,003 | 0,002    | 0,001 |
| Р. Вишера, выше устья р. Б.Колчим     | 0,11   | 0,004 | 0,002    | 0,001 |
| Р. Вишера, г. Красновишерск           | 0,13   | 0,005 | 0,007    | 0,001 |

В дражных отвалах содержание железа также высоко [7]. Исследования показывают, что в отдельных пробах концентрация железа может превышать 8 ПДК (табл. 2). Ниже по течению рек его концентрация уменьшается. Основные причины загрязнения поверхностных вод: процесс промывки и дезинтеграции породы приводит к увеличению содержания в поверхностных водах взвешенных веществ и основных горнообразующих элементов, в том числе металлов; накопленные в отстойниках в период промывки горной породы шламы приводят к повторному загрязнению поверхностных (и подземных) вод; неустойчивые минералы, попав в другие физико-геохимические условия, начинают интенсивно выветриваться [7].

Интенсивность загрязнения водных объектов возрастает в период весеннего половодья и ливневых паводков, когда вместе с диффузионным потоком в воду попадает большое количество мелкодисперсной породы из горных отвалов. Так, в устье р. Б. Колчим содержание железа в период половодья может достигать 16 мг/л. Особую тревогу вызывает то, что реки Б. Щугор и Б. Колчим впадают в р. Вишеру на расстоянии соответственно 40 и 30 км выше г. Красновишерска, что может сильно влиять на качество воды, используемой для водоснабжения крупного административного центра. Как показано в табл. 1, для р. Вишеры просматривается существенное влияние данных притоков в особенности на содержание железа, хотя данные концентрации не превышают ПДК.

Особенностью Пермского края является концентрация промышленных предприятий на отдельных территориях. Эти территории располагаются в разных частях бассейна Камы, загрязняя практически весь ее бассейн в пределах Пермского края и внося подчас значительные коррективы в фоновый химический состав вод, приходящих с вышележащих участков Камы. На участке р. Камы до г. Перми наиболее существенное влияние на химический состав и качество воды оказывает Березниковско-Соликамский промышленный узел. Он объединяет предприятия основной химии, горно-химической и металлургической промышленности, лесопромышленного комплекса. Наибольший вклад в загрязнение притоков и самой Камы вносят сточные воды предприятий г. Березники. Согласно данным [2–5; 11; 13–14] в воде акватории Камского водохранилища, прилегающей к территории Березниковско-Соликамского промышленного узла, железо и марганец содержатся в количествах, в несколько раз превышающих ПДК (табл. 2).

Таблица 2

**Кратность превышений ПДК среднегодовыми концентрациями железа и марганца в Камском водохранилище (район Березниковско-Соликамского промузла) и притоках [2–5; 11; 13–14]**

| Водный объект         | 1998 |    | 1999 |    | 2000 |    | 2001 |    | 2002 |     | 2003 |     | 2004 |     |
|-----------------------|------|----|------|----|------|----|------|----|------|-----|------|-----|------|-----|
|                       | 1*   | 2* | 1*   | 2* | 1*   | 2* | 1*   | 2* | 1*   | 2*  | 1*   | 2*  | 1*   | 2*  |
| Р. Вишера             | 8    | 12 | 4    | 11 | 7    | 9  | –    | –  | 7    | 8   | 4    | 5   | 5    | 8   |
| Камское водохранилище | 12   | 20 | 5    | 14 | 8    | 14 | 8    | 9  | 5    | 8   | 5    | 10  | 6    | 11  |
| Р. Косьва             | 47   | –  | 24   | –  | 51   | –  | –    | –  | 70   | –   | 43   | –   | 45   | –   |
| Р. Вильва             | –    | –  | 20   | –  | 25   | –  | –    | –  | 20   | 293 | 15   | 238 | 16   | 211 |
| Р. Лысьва             | 6    | 6  | 4    | 11 | 3    | 7  | –    | –  | 4    | 6   | 4    | 7   | 2    | 9   |
| Р. Сытва              | –    | –  | –    | –  | –    | –  | –    | –  | 2    | 6   | 3    | 7   | –    | –   |
| Р. Чусовая            | 4    | 10 | 2    | 11 | 5    | 14 | –    | –  | 6    | 7   | 5    | 7   | 5    | 8   |

1\* – nПДК<sub>Fe</sub>; 2\* – nПДК<sub>Mn</sub>

Следующим муниципальным образованием, вносящим ощутимое загрязнение в водные объекты, является Соликамский район, на территории которого находятся предприятия химической (ОАО «Сильвинит») и целлюлозно-бумажной (ОАО «Соликамскбумпром») промышленности. В малых реках района (Поповка, Усолка) железо и марганец по среднегодовым концентрациям превышают ПДК в 37 раз (табл. 5) [11].

Несмотря на сокращение в последние годы объемов сбросов сточных вод, тяжелые металлы из-за их высокого содержания в донных отложениях (табл. 3) выступают как потенциально опасные источники загрязнения. Таким образом, техногенные отложения выступают как своеобразная «память» водного объекта, которая может вызвать при определенных гидрологических и гидрохимических режимах интенсивное загрязнение. Особенно сильно сказывается загрязнение на малых реках Толыч и Черная, куда производят свой сброс большинство предприятий Березников (в том числе и ОАО «Ависма») и Соликамска.

Таблица 3

**Валовое содержание металлов в донных отложениях (мг/кг) [2–5; 11; 13–14]**

| <i>Место отбора проб</i> | <i>Железо (общее)</i> | <i>Никель</i> | <i>Медь</i> | <i>Ванадий</i> | <i>Свинец</i> | <i>Марганец</i> | <i>Цинк</i> |
|--------------------------|-----------------------|---------------|-------------|----------------|---------------|-----------------|-------------|
| Р. Чусовая, п. Лямино    | –                     | 10            | 17          | 17             | 11            | 1950            | 68          |
| Р. Лысьва, устье         | 47375                 | 171           | 127         | 7              | 67            | 4780            | 760         |

Основная масса декларируемого сброса тяжелых металлов приходится на территорию Кизеловского угольного бассейна: города Губаха, Кизел, Гремячинск. Разработка Кизеловского угольного бассейна началась еще в 1797 г. и продолжалась до конца 1990-х гг. Основным источником загрязнения водных объектов являются кислые шахтные воды. Характерная особенность кислых шахтных вод – высокое содержание в них железа и алюминия, а также ионов таких тяжелых металлов, как никель, медь, цинк, марганец и др. [6].

Химический состав шахтных вод зависит в основном от гидродинамических условий, содержания в угленосной формации серы, карбонатов и рассеянных элементов. Если содержание серы превышает 4 %, то в результате окисления сульфидов вода приобретает кислую реакцию ( $\text{pH} = 2 - 3$ ) и сульфатный состав [8]. Основной причиной накопления микроэлементов в шахтных водах, которые образуются при смешении вод различных горизонтов, является значительная активизация процессов выщелачивания из обогащенных металлами углей и наличие большого количества серы в углях. Трещино-карстовые воды карбонатных пород, обладающие высоким окислительным потенциалом, нейтральной средой ( $\text{pH} = 7,3 - 7,5$ ), гидрокарбонатно-кальциевым составом и минерализацией 0,06–1,5 г/л, взаимодействуют в шахтах с богатыми серой угленосными породами и преобразуются в сульфатные железисто-алюминиевые натриево-кальциевые воды с минерализацией 2,5–19 г/л [1; 8]. В ходе эксплуатации она возрастает до 35 г/л [8], а в отдельных шахтах достигает 670 г/л [6]. Шахтные воды по сравнению с природными обогащены микроэлементами: свинцом, медью, цинком, никелем, кобальтом и др.

В настоящее время разработка Кизеловского угольного бассейна полностью прекращена, но даже после закрытия шахт проблема загрязнения вод металлами остается актуальной. Это объясняется тем, что шахтные воды поступают из ряда шахт даже после их затопления. Кроме того, шахтные стоки с высоким содержанием тяжелых металлов дренируются из-под отвалов пород и терриконов, не прекращаются с промышленных площадок предприятий и ливневые стоки в реки. Ежегодно в реки бассейна попадает более 100 млн. м<sup>3</sup> шахтных вод, загрязненных сульфатами, закисным и окисным железом, алюминием, взвешенными веществами. Реки здесь в естественных условиях имеют минерализацию от 53 до 250 мг/л и гидрокарбонатно-кальциевый состав ( $\text{pH} = 6,5 - 7,8$ ). В зоне влияния угольных шахт минерализация речной воды увеличивается до 5 г/л ( $\text{pH} = 2,3 - 3,1$ ), причем преобладает сульфатный ион (до 3 г/л) [8]. Наиболее сильно подвержены загрязнению реки Полуденный Кизел, Гремячая, в которые непосредственно попадают шахтные воды (табл. 4), но и другие реки территории испытывают не менее интенсивную нагрузку.

Таблица 4

**Результаты спектрального анализа воды водотоков-приемников шахтных вод АО «Кизелуголь», мг/л [10]**

| <i>Место отбора проб</i>                          | <i>Дата отбора</i> | <i>Медь</i> | <i>Никель</i> | <i>Кобальт</i> | <i>Железо (общее)</i> |
|---|--------------------|-------------|---------------|----------------|-----------------------|
| Р. Полуденный Кизел, 1 км ниже шахты Широковская  | 29.07.87           | 0,07        | 0,26          | 0,36           | 500                   |
| Р. Гремячая, 10 км ниже сброса шахты Гремячинская | 02.03.88           | 0,14        | 0,5           | 0,32           | 215                   |

Смешение вод поверхностного стока с кислыми шахтными водами сопровождается выпадением в осадок гидроокисей железа и алюминия, с которыми соосаждаются значительные количества ионов тяжелых металлов. Они отлагаются на берегах и дне в виде красноватых налетов. Соосаждение тяжелых металлов на гидроокисях имеет адсорбционный характер. К моменту соосаждения катионов основная масса железа двухвалентного успевает окислиться и выпасть в осадок. Адсорбция сильно зависит от состояния активной среды. Заметное окисление железа начинается с  $\text{pH} > 4$ . Поведение ионов марганца в значительной степени иное. Окисление его в условиях, существующих в природных водах, происходит медленно. Самоочищение вод от двухвалентного марганца начинается только при

величинах рН, близких к 8,0. Поэтому преобладающим процессом в самоочищении вод от марганца может быть не адсорбция, а медленное окисление до  $MnO_2 \cdot nH_2O$  [12].

Сбросы сточных вод металлургических предприятий определяют концентрацию металлов, в особенности меди, в среднем течении р. Чусовой. Источники их поступления в пределах Свердловской области – сточные воды «Ревдинского медиплавильного завода», а также фильтрации из отстойников АО «Хромпик». Они резко увеличивают содержание в р. Чусовой меди, цинка, хрома, марганца и других тяжелых металлов. В пределах Пермского края со стороны левого берега, по Чусовой и Сылве в Сыльвенско-Чусовской плес Камского водохранилища сбрасывают свои стоки предприятия Лысьвенско-Чусовского и Кунгурского промышленных центров. Основными отраслями специализации данных городских поселений являются машиностроение и металлообработка. Сточные воды предприятий этих отраслей также увеличивают содержание железа и марганца в притоках и, как следствие, в самой Каме (табл. 2). Основными загрязняющими ингредиентами (из металлов) в сточных водах ОАО «Чусовской металлургический завод» являются: железо общее, цинк, ванадий, что обусловило повышенное содержание данных ингредиентов в донных отложениях р. Чусовой. При этом их содержание в сточных водах значительно меньше, чем в стоках вышерасположенных промузлов. Крупным притоком р. Чусовой является р. Лысьва. Ее гидрохимический режим определяется сбросом сточных вод, в первую очередь, ОАО «Лысьвенский металлургический завод».

В целом на акватории р. Камы до г. Перми концентрации железа и марганца изменяются от 5–7 до 7–14 ПДК (табл. 2). В 1998 г. отмечено максимальное превышение – 26 ПДК. Кроме того, в отдельных реках, не относящихся к территории промышленных узлов, также зафиксировано наличие железа в повышенных концентрациях: в 2004 г. в р. Иньве среднегодовые концентрации железа и марганца составляли соответственно 3 и 8 ПДК, а в правом притоке р. Яйвы – Сев. Вильве отмечалось содержание железа, равное 60 ПДК, причем в 10 из 12 проб были зафиксированы превышения предельно допустимой концентрации в 38–191 раз [14].

В районе г. Перми качество воды р. Камы формируется как за счет вод с вышележащих участков, так и за счет поступления сточных вод с территории г. Перми. Предприятиями г. Перми в малые реки и Каму сбрасывается 62 % от общей массы железа по краю. Основным загрязнителем водных объектов является ООО «Новогор-Прикамье», принимающее в коллекторные сети сточные воды промышленных предприятий города для последующей очистки. 98 % сточных вод ООО «Новогор-Прикамье» сбрасывает без очистки. Часть принимаемых сточных вод г. Перми (84 %) сбрасывается без очистки через аварийные выпуски в р. Данилиху. Неучтенными остаются ливневые стоки с городских и сельскохозяйственных территорий, приносящие немалое количество загрязняющих веществ, в том числе металлов. С сельхозугодий вымываются элементы, вносимые с удобрениями, в число которых входят марганец и железо. Из всего спектра сбрасываемых предприятиями веществ железо по массе занимает второе место после жиров [2–5; 11; 13–14]. В г. Краснокамске доля загрязненных сточных вод составляет 66 % от общей массы сброса. Нормативно очищенными являются только 0,8 %. Наибольший вклад в загрязнение водных объектов территории вносят ОАО «ЦБК «Кама», Закамская ТЭЦ-5 и ФГУП «Пермский свиноплекс» [2–5, 11, 13–14].

В табл. 5 приведены концентрации железа и марганца в водах р. Камы и ее притоков за 1998–2004 гг.

Таблица 5

**Содержание железа и марганца в водах р. Камы и ее притоков  
по данным за период 1998–2004 гг. [5]**

| Водоток  | Содержание железа |           | Содержание марганца |         |
|--|-------------------|-----------|---------------------|---------|
|  | Кол-во ПДК        | Мг/л      | Кол-во ПДК          | Мг/л    |
| Р. Вишера, левый приток р. Камы                    | 4–8               | 1,2–2,4   | 5–12                | 0,5–1,2 |
| Район Березниковско-Соликамского промузла          |                   |           |                     |         |
| Р. Кама  | 5–12              | 1,5–3,6   | 8–20                | 0,8–2   |
| Р. Поповка, р. Усолка                              | 37                | 11,1      | 37                  | 3,7     |
| Район Кизеловско-Губахинского промузла             |                   |           |                     |         |
| Р. Косьва, левый приток р. Камы                    | 24–70             | 7,2–21    | 15–25               | 1,5–2,5 |
| Р. Вильва, правый приток р. Усьвы                  | 211–293           | 63,3–87,9 | –                   | –       |
| Р. Усьва, правый приток р. Чусовой                 | 8                 | 2,4       | –                   | –       |
| Район Лысьвенско-Чусовского, Кунгурского промузлов |                   |           |                     |         |
| Р. Лысьва  | 2–6               | 0,6–1,8   | 6–11                | 0,6–1,1 |
| Р. Сылва, правый приток р. Чусовой                 | 2–3               | 0,6–0,9   | 6–7                 | 0,6–0,7 |

Окончание табл.5

| Водоток  | Содержание железа |           | Содержание марганца |         |
|--|-------------------|-----------|---------------------|---------|
|  | Кол-во ПДК        | Мг/л      | Кол-во ПДК          | Мг/л    |
| Р. Чусовая, левый приток р. Камы               | 2–6               | 0,6–1,8   | 7–14                | 0,7–1,4 |
| Район Пермско-Краснокамского промузла          |                   |           |                     |         |
| Р. Кама  | 4–7               | 1,2–2,1   | 7–26                | 0,7–2,6 |
| Р. В. Мулянка                                  | 3                 | 0,9       | –                   | –       |
| Р. Пыж, правый приток р. Камы                  | 5                 | 1,5       | –                   | –       |
| Водотоки, протекающие вне территорий промузлов |                   |           |                     |         |
| Р. Иньва, правый приток р. Камы                | 3                 | 0,9       | 8                   | 0,8     |
| Р. Сев. Вильва                                 | 38–191            | 11,4–57,3 | –                   | –       |

В результате значительного влияния сбросов на качество воды в пространственном распределении железа и марганца по длине р. Камы наблюдается определенная закономерность: тенденция к уменьшению их концентраций вниз по течению р. Камы нарушается водами притоков, ниже которых концентрации вновь возрастают (рис. 1, 2).

В районе г. Перми концентрации этих веществ довольно резко возрастают (рис. 1, 2). В 2008 г. пик концентраций железа относится к району г. Добрянки (д. Заполье) и г. Перми (верхний бьеф КамГЭС, рис. 1). Наименьшими концентрациями характеризуется Сылвенско-Чусовской плес Камского водохранилища, здесь содержание железа находится в норме, а превышение ПДК по марганцу является наименьшим во всем водохранилище.

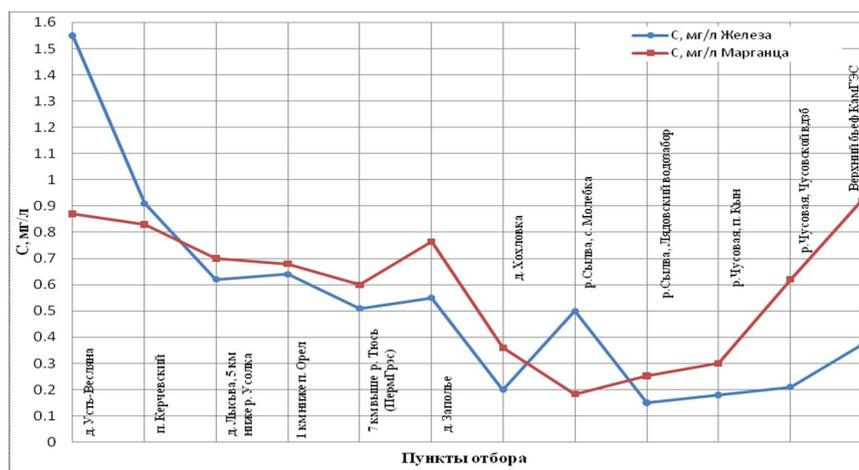


Рис. 1. Изменение концентраций железа и марганца по длине Камского водохранилища (р. Кама) в 2008 г.

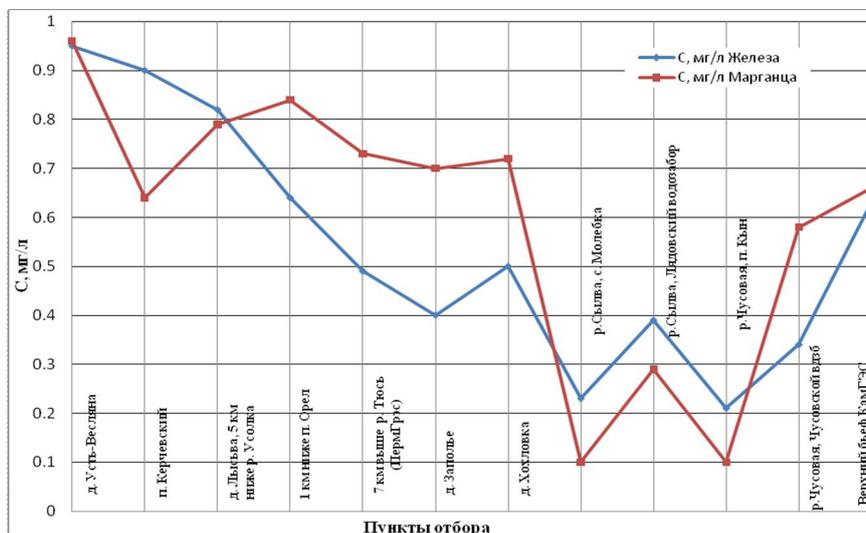


Рис. 2. Изменение концентраций железа и марганца по длине Камского водохранилища (р. Кама) в 2009 г.

Таким образом, водные массы рек бассейна р. Камы (до г. Перми) характеризуются повышенными значениями концентраций железа и марганца. Естественную тенденцию снижения концентраций железа и марганца вниз по течению от верховьев Камы до г. Перми нарушают загрязненные стоками камские притоки, поддерживая высокое содержание этих металлов в водах р. Камы на всем ее протяжении.

#### Библиографический список

1. *Иовчев Р.И., Павленко Г.К., Рохлин Л.И., Рубейкин В.З.* Об изменении химического состава попутных вод в процессе техногенного воздействия // Водные ресурсы. 1986. № 3. С. 90–95.
2. Качество поверхностных и подземных вод // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 1999 г. Пермь, 2000. С. 10–18.
3. Качество поверхностных и подземных вод // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2000 г. Пермь, 2001. С. 9–14.
4. Качество поверхностных и подземных вод // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2001 г. Пермь, 2002. С. 20–29.
5. Качество поверхностных и подземных вод // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2002 г. Пермь, 2003. С. 56–62.
6. *Лепихин А.П. и др.* Особенности влияния предприятий ПО «Кизелуголь» на камское водохранилище // Актуальные вопросы охраны окружающей среды в топливно-энергетических и угольных комплексах: сб. науч. тр. / ВНИИОСуголь. Пермь, 1990. С. 33–39.
7. *Максимович Н.Г., Блинов С.М.* Использование грунтовых фильтров для очистки сточных вод месторождений алмазов в бассейне р. Вишера // Инженерно-геологическое обеспечение недропользования и охраны окружающей среды: материалы междунар. науч.-практ. конф. / Перм. гос. ун-т. Пермь, 1997. С. 324.
8. *Максимович Н.Г., Горбунова К.А.* Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Изв. вузов. Геология и разведка. 1991. № 5. С. 137–140.
9. *Назаров Н.Н., Шарыгин М.Д.* География. Пермская область: учебник. Пермь: Книжный мир, 1999. 248 с.
10. *Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А.* Миграция техногенных компонентов в речных долинах и ее влияние на состояние экосистем // Вестн. Перм. у-та. 1996. № 4. С. 113–127.
11. Поверхностные и подземные воды // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 1998 г. Пермь, 1999. С. 12–19.
12. *Соломин Г.А., Гончарова Т.О., Спонти Е.А. и др.* Самоочищение кислотных шахтных вод от тяжелых металлов в естественных условиях // Гидрохимические материалы. Л.: Гидрометеиздат, 1968. Т. 46. С. 150–157.
13. Состояние водных объектов области // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2003 г. Пермь, 2004. С. 16–79.
14. Состояние водных объектов Пермской области // Состояние и охрана окружающей среды Пермской области в 2004 г. Пермь, 2005. С. 56–65.

**Е.А. Antonova**

#### TECHNOGENIC SOURCES OF INCOME OF IRON AND MANGANESE TO THE WATER OF THE KAMA RIVER BASIN

The article provides description of the main industrial sources of pollution of The Kama River basin in Perm region and the quantitative indicators of water pollution with iron and manganese.

**К е у w o r d s :** technogenic sources of pollution; iron; manganese.