

# ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

---

DOI: 10.36535/0869-1010-2020-05-1

## ВЛИЯНИЕ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ТЕХНОГЕННУЮ ПОСТАВКУ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕЧНЫХ ВОДАХ

*Е.П. Янин*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва  
yanin@geokhi.ru

В весеннее половодье в условиях техногенного загрязнения поступление в реку талых вод приводит к заметным изменениям в поведении химических элементов, обуславливает существенное изменение соотношения их взвешенных и растворенных форм миграции, определяет трансформацию форм нахождения и снижение геохимической подвижности металлов в речной взвеси. Тем не менее уровень техногенного загрязнения речных вод по-прежнему достаточно высок и обусловлен поступлением в реку, прежде всего, канализационного стока, а также поверхностного стока с хозяйственно освоенных территорий. Для многих химических элементов важными внешними факторами, обуславливающими их поведение в речных водах, являются режим техногенной поставки и состав сбрасываемых в реку сточных вод.

Гидрологические процессы, происходящие на реках, играют важную роль в судьбе загрязняющих веществ, поскольку водная масса является связующим звеном между их поступлением в водотоки (т. е. источниками загрязнения), перераспределением в речной экосистеме между ее различными компонентами и, как правило, накоплением в гидробионтах и донных отложениях (формированием устойчивых зон загрязнения). Это определяет необходимость установления особенностей поведения загрязняющих веществ в водных потоках хозяйственно освоенных территорий с учетом не только техногенных, но и природных факторов, часто определяющих существенную временную (особенно сезонную) изменчивость как гидрологических параметров речного стока, так и химического состава речных вод. Как подчеркнул В.И. Вернадский, «река является чрезвычайно чувствительной, равновесной системой, находящейся в непрерывном изменении. Она вечно меняется, и это изменение различно в каждом месте ее течения, меняется днем и ночью, по временам года, в многолетние периоды» [2, с. 320].

В общем случае в естественных условиях химический состав речных вод равнинных рек во многом зависит от ландшафтно-климатических условий их водосборов, состава водовмещающих пород водоносных горизонтов и

почвенно-растительного покрова, а также определяется естественной смесью генетических составляющих водного стока в разные гидрологические фазы [1, 6, 13]. В техногенных условиях, наряду с указанными факторами, формирование речного стока и состава вод определяется также гидрологическими особенностями промышленно-урбанизированных территорий, являющихся отражением специфики их водного баланса, в свою очередь обусловленной климатическими факторами, своеобразием условий формирования и режима поверхностного, грунтового и подземного стока, а также масштабами водопотребления и отведения сточных вод [15].

Особый интерес представляет выяснение влияния весеннего половодья на поставку и распределение химических элементов в речных водах в зонах техногенного загрязнения, поскольку в этот гидрологический сезон существенно меняется генетический характер поступающих в основной водоток вод. В природных условиях в период подъема и пика половодья в речном стоке равнинных территорий заметно доминируют поверхностно-склоновые (талые) и почвенно-поверхностные вод, кратковременно (на спаде половодья) – почвенно-грунтовые воды [3, 7]. В промышленно-урбанизированных районах при относительно стабильном во времени и мало зависящем от сезона года сбросе различных сточных вод существенно возрастает роль поверхностного стока с освоенных территорий, загрязненных промышленными выбросами и отходами [15, 16].

С целью установления возможного влияния весеннего половодья на поставку и поведение химических элементов было проведено сравнительное изучение состава речных вод в зоне техногенного загрязнения и в фоновых условиях [14]. На Пахре в зоне влияния г. Подольска (крупного промышленного центра Московской области) исследования осуществлялись на двух створах. Створ I располагался в устье руч. Черного, сток которого практически полностью формировался за счет поступления сточных вод г. Подольска. Протяженность ручья около 1,3 км; основная масса сточных вод поступала с городских очистных сооружений, расположенных примерно в 800 м выше устья ручья. Наблюдения на этом створе позволяют охарактеризовать процесс поставки поллютантов источником загрязнения и выявить особенности их поведения в пределах верхнего участка зоны смешения сточных и речных вод. Створ II, отвечающий замыкающему створу нижнего участка зоны смешения, располагался на р. Пахре в 2 км ниже устья руч. Черного. На этом отрезке реки происходит основное перемешивание сточных и речных вод, а распределение элементов обуславливается главным образом гидродинамическими процессами разбавления сточных вод речными (природными) водами. В качестве фонового был выбран створ III, расположенный на р. Москвы вне зоны прямого техногенного (промышленного) воздействия (выше Можайского водохранилища, в районе с. Поречье). В летнюю межень на створах I и II пробы воды отбирались в течение 32 дней (ежедневно, т. е. на каждом створе отобрано по 32 пробы воды), на створе III – в тот же период времени, но с интервалом в 3 дня (всего отобрано 10 проб воды). В весенний период на всех створах пробы отбирались с интервалом в один день (на каждом створе отобрано по 5 проб воды). Во всех случаях пробы воды (как средние по створу) объемом 10 л отбирались с глубины 0,5 м от водной поверхности специальным отборником в белые полиэтиленовые канистры. Необходимая предварительная подготовка проб к химическим анализам проводилась в полевой лаборатории непосредственно в день отбора в соответствии с рекомендациями [8, 9, 11]. В частности, разделение растворенных (фильтрат) и взвешенных (взвесь на фильтре) форм

химических элементов осуществлялось на специальной установке путем фильтрования воды под вакуумом через мембранные фильтры с диаметром пор  $\sim 0,45$  мкм; полученные таким образом фильтрат и взвесь затем исследовались раздельно (рис. 1). Для определения мутности пробы речной воды фильтровались через фильтры с фиксированной массой. С целью получения значимых навесок взвеси (твердых взвешенных веществ) специально отобранные пробы воды (летом – с интервалом в 3 дня, зимой – с интервалом 1 день) объемом 40–60 л отстаивались в течение суток в белых полиэтиленовых баках; затем вода сливалась при помощи сифона; твердый осадок (пробы сепарационной взвеси) высушивался на воздухе и помещался в стеклянные бюксы. Химико-аналитические исследования проб (фильтрат, взвесь на фильтре, сепарационная взвесь) осуществлялись в полевой и стационарных лабораториях. Схема фазового анализа сепарационной взвеси приведена в табл. 1.

Сравнительное исследование распределения химических элементов в поверхностных водах в периоды летней межени и в весеннего половодья в зоне техногенного загрязнения (створы I и II) и в пределах фонового участка (створ III) показали следующие.

Так, в весеннее половодье (по сравнению с летней меженью) в фоновых условиях (створ III) для растворенных форм меди и цинка наблюдалось снижение удельных концентраций, что, судя по всему, обусловлено разбавляющим действием талых вод (табл. 2). Среднее содержание растворенных форм никеля заметно возросло, а хрома – практически не изменилось. Для взвешенных форм хрома, никеля, свинца и ртути (даже при увеличении мутности речной воды в весеннее время) за счет уменьшения их удельных концентраций в самой взвеси происходит снижение содержания, что, судя по всему, обусловлено поступлением в составе талого стока значительных количеств осадочного материала (в том числе природного) с околофоновыми содержаниями металлов. Средние концентрации взвешенных форм меди и кадмия практически не изменились, а цинка заметно возросли. Показательно, что валовые содержания меди, цинка и хром (по сравнению с таковыми в летний период) заметно уменьшились. Тем не менее как валовые содержания, так и удельные концентрации основных форм миграции практически всех изученных тяжелых металлов в весеннее половодье в общем случае находятся в пределах интервалов их концентраций в летнее время. Важно отметить, что в условиях загрязнения (как летом, так и весной) техногенные геохимические аномалии проявились практически для всех изученных металлов и во всех формах миграции. Достаточно высокий уровень техногенного загрязнения р. Пахры подтверждается и данными по распределению других химических элементов (табл. 3).

Анализ данных по руч. Черному (створ I), приводимых в табл. 2, свидетельствует о том, что «весенние» концентрации растворенных форм меди и никеля практически идентичны их содержаниям в летний период. Для растворенных форм цинка, ртути и особенно кадмия фиксировалось заметное уменьшение их содержания, что, безусловно, является следствием разбавляющего действия поступающих в ручей талых (снеговых) вод. Для хрома в весеннее половодье было отмечено существенное увеличение концентрации его растворенных форм миграции, что не находит однозначного объяснения. Возможно, что водам поверхностного стока с территории некоторых производственных зон, поступающих в ручей Черный, характерны повышенные концентрации данного химического элемента.

Почти для всех изученных тяжелых металлов в весеннее половодье наблюдалось снижение удельного содержания их взвешенных форм миграции и, как правило, уменьшение доли (относительного содержания) указанных форм в общем балансе (в валовом содержании). Исключение составляли ртуть и свинец, для которых фиксировалось заметное увеличение удельных и относительных содержаний взвешенных форм. Это, возможно, обусловлено поступлением, особенно с территории промышленных предприятий (например, аккумуляторного завода), талых вод, обогащенных взвешенными формами указанных тяжелых металлов. В частности, весенние уровни удельного содержания ртути и свинца во взвеси (в твердом взвешенном веществе) вод руч. Черного были заметно выше удельных концентраций, наблюдаемых во взвеси в летнее время, что вкуче с высокой мутностью поверхностных вод в весеннее половодье предопределяло довольно высокие удельные концентрации и высокое относительное содержание (долю от вала) их взвешенных форм миграции (табл. 4).

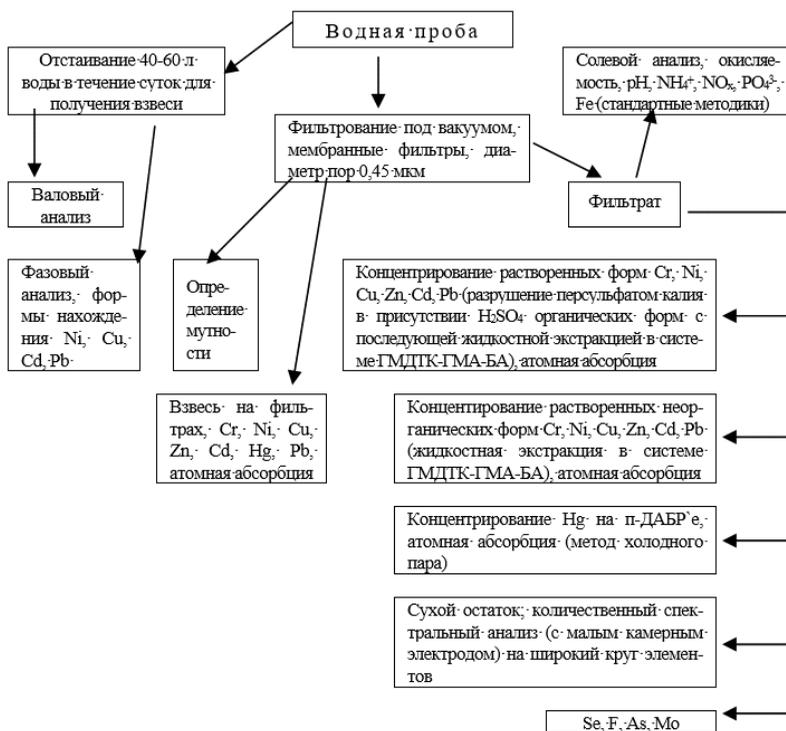


Рис. 1. Схема обработки и анализа проб поверхностных вод. Методы анализа: Se – флуориметрический; F – ионно-селективный; As – метод Гутцайта; Mo – экстракционно-фотометрический; валовый анализ взвеси – по стандартным методикам (классический силикатный анализ); ГМДПК-ГМА-БА – гексаметилендитиокарбаминат гексаметилен аммония в бутилацетате

**Схема последовательной обработки проб сепарационной взвеси  
для извлечения различных групп форм металлов**

| №<br>п/п | Используемый раствор*  | Преобладающая группа форм и ее условное название   |
|----------|--|--|
| 1        | <p>Ацетатно-буферная смесь (уксуснокислый буфер, pH=4,2; 1 объем соли 1 N раствора уксуснокислого натрия и 2 объема 1 N уксусной кислоты); соотношение Т:Ж=1:10; 20 мин. на водяной бане (до полного выхода карбонатов); фильтрование для получения фильтрата (вытяжки).</p>                     | <p>Сорбционно-карбонатные формы. Обменно-сорбированные (иногда называемых поверхностно-сорбированными) и карбонатные формы металлов. Отличаются высокой геохимической подвижностью.</p>  |
| 2        | <p>Раствор пиррофосфата натрия (смесь <math>\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot x \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{NaOH}</math>), pH ~ 13; 3–6-кратная обработка в течение 12 час. до осветления раствора, металлы определялись после разложения органического вещества серной кислотой.</p> | <p>Органоминеральные формы. Металлы, связанные с гумусовыми веществами. Обладают повышенной подвижностью</p>   |
| 3        | <p>Раствор 0,15 н HCl, обработка в течение 1 час., комнатная температура.</p>  | <p>Гидроксидные формы, включающие металлы, связанные со свежими (аморфными, неустойчивыми) оксидами и гидроксидами Fe, Mn, отчасти Al. Обладают повышенной подвижностью</p>  |
| 4        | <p>Остаток; рассчитывался путем вычитания содержания суммы предыдущих форм из валовой концентрации металлов в конкретном образце сепарационной взвеси.</p>   | <p>Кристаллические и силикатные формы. Металлы, связанные с кристаллическими оксидами; сульфиды и самостоятельные оксиды; металлы, входящие в состав решеток обломочных и глинистых минералов. Дос-точно устойчивые формы.</p> |

\* Естественно, что не исключена возможность извлечения конкретной вытяжкой металлов. Исследование распределения тяжелых металлов в соответствующих вытяжках осуществлялось атомной абсорбцией.

Таблица 2

**Распределение металлов в речных водах в разные гидрологические периоды, мкг/л**

| Металл | Показатель | Створ I |       | Створ II |        | Створ III (фон) |        |
|--------|------------|---------|-------|----------|--------|-----------------|--------|
|        |            | Лето    | Весна | Лето     | Весна  | Лето            | Весна  |
| Медь   | P          | 34,3    | 37    | 13,8     | 10,75  | 7,62            | 4,0    |
|        | B          | 73,7    | 42,24 | 15,9     | 11,33  | 4,69            | 4,89   |
|        | P+B        | 108     | 30,24 | 29,7     | 22,08  | 12,31           | 8,89   |
|        | % B        | 68      | 54    | 54       | 51     | 38              | 55     |
| Цинк   | P          | 48,2    | 36    | 33,8     | 36     | 28,56           | 18     |
|        | B          | 69,8    | 63,41 | 26,3     | 42,83  | 14,59           | 19,23  |
|        | P+B        | 118     | 99,41 | 60,1     | 78,83  | 48,15           | 37,23  |
|        | % B        | 59      | 64    | 44       | 54     | 34              | 52     |
| Хром   | P          | 10,6    | 37    | 8,47     | 3      | 3               | 3      |
|        | B          | 29,5    | 7,55  | 10,6     | 10,65  | 9,8             | 3,49   |
|        | P+B        | 40,1    | 44,55 | 19,07    | 13,65  | 12,8            | 6,49   |
|        | % B        | 74      | 17    | 37       | 79     | 61              | 54     |
| Никель | P          | 48      | 48    | 11,1     | 5,5    | 2,6             | 5      |
|        | B          | 26,1    | 16,16 | 6,48     | 6,71   | 4,13            | 2,79   |
|        | P+B        | 74,1    | 64,16 | 17,58    | 12,21  | 6,73            | 7,79   |
|        | % B        | 35      | 26    | 37       | 55     | 61              | 36     |
| Кадмий | P          | 6,11    | 0,8   | 0,451    | 1      | 0,133           | –      |
|        | B          | 3,27    | 1,55  | 0,631    | 0,25   | 0,151           | 0,17   |
|        | B+P        | 9,38    | 2,35  | 1,082    | 1,25   | 0,284           | –      |
|        | % B        | 35      | 66    | 58       | 20     | 53              | –      |
| Ртуть  | P          | 0,73    | 0,45  | 0,658    | 0,525  | 0,0491          | –      |
|        | B          | 0,61    | 1,32  | 0,042    | 0,0084 | 0,0019          | 0,0013 |
|        | B+P        | 1,34    | 1,77  | 0,7      | 0,5334 | 0,051           | –      |
|        | % B        | 46      | 76    | 6        | 2      | 4               | –      |
| Свинец | P          | 5,78    | –     | 4,13     | –      | 2,17            | –      |
|        | B          | 40      | 81,3  | 9,86     | 5,76   | 4,47            | 2,09   |
|        | B+P        | 45,78   | –     | 13,99    | –      | 6,64            | –      |
|        | % B        | 87      | –     | 70       | –      | 67              | –      |

Примечание. P – растворенная форма; B – взвешенная форма, P + B – общее содержание, % B – доля взвешенной формы от общего содержания.

Таблица 3

**Химические элементы (растворенные формы)  
в разные гидрологические сезоны, мкг/л**

| Элемент  | Створ I |       | Створ II |       | Створ III (фон) |       |
|----------|---------|-------|----------|-------|-----------------|-------|
|          | Лето    | Весна | Лето     | Весна | Лето            | Весна |
| Фтор     | 706,3   | 625   | 444      | 250   | 201             | 200   |
| Марганец | 56,38   | 195   | 29,13    | 215   | 27,8            | 160   |
| Мышьяк   | 1,03    | 1     | 1,49     | 1     | 0,432           | 0,4   |
| Селен    | 0,291   | 0,3   | 0,238    | 0,2   | 0,128           | 0,08  |

На створе II (р. Пахра) количественные параметры распределения изученных металлов в динамическом ряду наблюдений также обуславливались процессами гидродинамического перемешивания сточных и речных вод, однако в весенний период конечные результаты этих процессов для некоторых химических элементов несколько иные, нежели в летнюю межень. Так, в весеннее время разбавление поступающих в реку сточных вод проявилось в более существенном снижении удельных концентраций растворенных форм меди, хрома, никеля, кадмия и взвешенных форм меди, никеля, ртути и свинца. Это, в частности, свидетельствует об их преимущественном поступлении в р. Пахру с водами руч. Черного (т. е., по сути, с сбрасываемыми сточными водами). Уровни содержания растворенного цинка практически не изменились, что, видимо, связано с высокими содержаниями этого металла в воде р. Пахре на участках русла выше руч. Черного (повышенные содержания цинка типичны для верхнего горизонта почв района г. Подольска и для лежалого снега даже в фоновых районах Московской области [10]). Содержание взвешенного хрома на створе II несколько увеличилось по сравнению со створом I (следствие более высокой мутности речной воды). Следует отметить, что для многих металлов геохимические аномалии во взвешенных формах в весеннее время в существенной степени усиливались именно за счет увеличения мутности воды (т. е. за счет увеличения количества переносимого осадочного материала), нежели ростом их удельной концентрации в самой взвеси (в осадочном материале). По данным [12], для металлов, мигрирующих в водах Амура главным образом во взвешенной форме (алюминий, железо и свинец), рост их удельного содержания в половодье также был обусловлен повышением мутности воды и особенно увеличением количества переносимого тонкодисперсного вещества.

Таблица 4

**Сравнительная характеристика мутности (мг/л) и удельных концентраций (мг/кг) металлов в речной взвеси в разные гидрологические периоды**

| Компонент | Створ I |        | Створ II |        | Створ III (фон) |       |
|-----------|---------|--------|----------|--------|-----------------|-------|
|           | Весна   | Лето   | Весна    | Лето   | Весна           | Лето  |
| Медь      | 641     | 1587,6 | 98,5     | 773    | 92              | 180,4 |
| Цинк      | 939,5   | 1637   | 371,5    | 1173,5 | 362             | 630,4 |
| Хром      | 123     | 687,8  | 90,1     | 497,5  | 65,7            | 308   |
| Никель    | 241,5   | 556,6  | 59,1     | 302,2  | 52,5            | 115,8 |
| Кадмий    | 22,98   | 74,1   | 4,6      | 34,3   | 3,2             | 7,5   |
| Свинец    | 1291,5  | 887,1  | 55,3     | 630,7  | 39,3            | 261,7 |
| Ртуть     | 16,5    | 11,56  | 0,1      | 3,36   | 0,025           | 0,068 |
| Мутность  | 65,4    | 53,4   | 120,1    | 28,0   | 53,1            | 24,15 |

Весеннее половодье сказалось и на балансе форм нахождения тяжелых металлов во взвеси, т. е. в переносимом водным потоком твердом взвешенном веществе (табл. 5). Так, в летнее время в фоновых условиях (створ III) в речной взвеси для никеля наблюдалось преобладание сорбционно-карбонатных форм, а для меди – органических и сорбционно-карбонатных. В техногенных условиях для никеля также преобладали сорбционно-карбонатные формы, для меди и свинца уже доминировали кристаллические и силикатные формы и в меньшей степени оксидные формы.

Таблица 5

Баланс форм нахождения металлов во взвеси в зоне загрязнения (створ I) и в фоновых условиях (створ IV) в весеннее половодье, %

| Металл | Створ | Сорбционно-карбонатные |      | Органические |      | Оксидные |      | Кристаллические и силикатные |      |
|--------|-------|------------------------|------|--------------|------|----------|------|------------------------------|------|
|        |       | весна                  | лето | весна        | лето | весна    | лето | весна                        | лето |
| Никель | I     | 50                     | 50,3 | 13           | 18,1 | 21       | 17,7 | 16                           | 13,9 |
|        | III   | 15                     | 60,5 | 35           | 16,5 | 22       | 4,3  | 28                           | 18,7 |
| Свинец | I     | 30                     | 8    | 4            | 6,7  | 35       | 30,2 | 31                           | 49,8 |
|        | III   | 26                     | —    | 44           | —    | 13       | —    | 17                           | —    |
| Медь   | I     | 20                     | 6,8  | 22           | 17,1 | 37       | 25,6 | 21                           | 50,5 |
|        | III   | 35                     | 30,8 | 30           | 40,8 | 11       | 12,3 | 24                           | 16,1 |

Весной в фоновых условиях для никеля существенно уменьшилось относительное содержание сорбционно-карбонатных и увеличилась доля органических и оксидных форм, для меди снизилось относительное содержание органических форм и увеличилась доля кристаллических и силикатных форм и отчасти сорбционно-карбонатных форм. В зоне техногенного влияния весной для всех металлов наблюдался увеличение доли сорбционно-карбонатных форм, для свинца и меди возросло также относительное содержание кристаллических форм. Кроме того, в весеннее половодье в техногенных условиях по сравнению с фоном заметно увеличилась доля сорбционно-карбонатных и органических форм никеля, существенно снизилась доля органических и увеличилась доля оксидных и кристаллических форм свинца, возросла доля оксидных форм и снизилась доля сорбционно-карбонатных форм меди. В целом можно отметить, что весной в фоновых условиях по сравнению с летней меженью геохимическая подвижность никеля и меди во взвеси снижалась, в техногенных условиях подвижность никеля во взвеси также несколько снижалась, а свинца и меди – заметно увеличивалась. Отмеченные изменения в балансе форм нахождения тяжелых металлов во взвеси обусловлены, очевидно, в первую очередь источниками поступления осадочного материала и последующими процессами его трансформации в речном потоке в ходе миграции. Так, в фоновых условиях явно доминирует поставка природного материала, тогда как в зоне влияния города велика роль техногенного осадочного материала, поступающего со сточными водами и поверхностным стоком.

Показательно, что для Северной Двины было установлено, что в летний период (в августе) в речной взвеси геохимическая подвижность целого ряда тяжелых металлов (включая никель, медь, свинец) была более высокой, нежели в весенней взвеси [5]. Авторы цитируемой статьи обоснованно полагают, что в летнее время в реке намного интенсивнее проявляются биогеохимические процессы, речные воды отличаются более высоким уровнем содержания органического вещества и повышенным вкладом фитопланктона. Это в конечном счете и приводит к усилению геохимической подвижности металлов во взвеси Северной Двины в конце лета по сравнению с периодом весеннего половодья, когда из-за высоких скоростей течений распресненных вод физические процессы в водной толще преобладают над биогеохимическими. Отметим, что в свое время В.В. Гордеев [4] показал, что закономерности фазовой дифференциации химических элементов в речной взвеси определяются как физико-химическими свойствами элементов (разное соотношение форм у разных элементов в одних и тех же условиях), так и физико-географическими условиями среды (меняющиеся соотношения форм у одного и того же элемента при изменении условий).

Таким образом, в весенний период в условиях техногенного загрязнения поступление в реку талых вод приводит к заметным изменениям в поведении химических элементов, в том числе, к изменению соотношений их основных форм миграции – взвешенной и растворенной, к трансформации форм нахождения металлов во взвеси и, в частности, к снижению их геохимической подвижности. Тем не менее уровень техногенного загрязнения речных вод в этот период времени по-прежнему достаточно высок и обусловлен, прежде всего, поставкой сточных вод в реку, также поступлением поверхностного (талого) стока с промышленно-урбанизированных и других хозяйственно освоенных территорий. Интенсивность проявления техногенных геохимических аномалий тяжелых металлов во взвешенных формах контролируется не только их повышенными концентрациями во взвеси (в

осадочном материале), но и в существенной степени заметно увеличенной мутностью речных вод. Для многих тяжелых металлов и других химических веществ по-прежнему важными внешними факторами, обуславливающими их поведение в поверхностных водах, являются режим техногенной поставки и химический состав сбрасываемых в реку с общегородских и локальных очистных сооружений сточных вод.

## Литература

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеониздат, 1970. – 444 с.
2. *Вернадский В.И.* История минералов земной коры. Т. 2. История природных вод. Ч. 1. Вып. 2. – Л.: ОНТИ-ХИМТЕОРЕТ, 1934, с. 203–403.
3. *Воронков В.П.* Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР. – Л.: Гидрометеониздат, 1955. – 352 с.
4. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 161 с.
5. *Гордеев В.В., Шевченко В.П.* Формы нахождения некоторых металлов во взвеси Северной Двины и их сезонные вариации // *Океанология*, 2012, № 2, с. 282–291.
6. *Джамалов Р.Г., Никаноров А.М., Решетняк О.С., Сафронова Т.П.* Воды бассейна Оки: химический состав и источники загрязнения // *Вода и экология*, 2017, № 3, с. 114–132.
7. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Верхне-Волжский район*, т. 10, кн. 1. – М.: Гидрометеониздат, 1973. – 476 с.
8. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши.* – Л.: Гидрометеониздат, 1977. – 541 с.
9. *Саэт Ю.Е., Алексинская Л.Н., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 74 с.
10. *Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
11. *Саэт Ю.Е., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод. – М.: ИМГРЭ, 1985. – 48 с.
12. *Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П., Таловская В.С., Ри Т.Д.* Пространственно-временная изменчивость содержания растворенных форм микроэлементов в водах реки Амур // *Водные ресурсы*, 2020, № 3, с. 336–347.
13. *Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Перепелятников Л.В.* Пространственно-временная изменчивость химического состава речных вод юга Дальнего Востока РФ // *Водные ресурсы*, 2009, № 4, с. 428–439.
14. *Янин Е.П.* Тяжелые металлы в малой реке в зоне влияния промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 2003. – 89 с.
15. *Янин Е.П.* Общие условия и основные факторы формирования водного стока в городских ландшафтах // *Проблемы окружающей среды и природных ресурсов*, 2006, № 9, с. 73–111.
16. *Янин Е.П.* Поверхностный сток с городских территорий как источник загрязнения речных систем // *Научные и технические аспекты охраны окружающей среды*, 2007, № 4, с. 2–104.