

УДК 556.5

## МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ ПРИТОКОВ НИЖНЕ-БУРЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2016 г. Н.М. Шестеркина, В.П. Шестеркин

ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Хабаровск, Россия

**Ключевые слова:** Нижне-Бурейское водохранилище, р. Бурей, малые реки, химический состав воды, микроэлементы, сезонная и многолетняя изменчивость, водные экосистемы.

Реализация масштабных проектов по строительству и эксплуатации гидроузлов является серьезным фактором вмешательства в функционирование водных экосистем. По результатам мониторинга речных вод в зоне строящейся Нижне-Бурейской ГЭС в 2011–2014 гг. дана характеристика химического состава вод р. Бурей и ее притоков, показаны значительные вариации физико-химических характеристик вод малых рек. Выявлена сезонная и многолетняя динамика содержания растворенных форм микроэлементов. Установлены повышенные концентрации железа, марганца, меди, ртути, значительные их вариации, связанные с природными особенностями территории.

Воды малых рек, дренирующих преимущественно эффузивные породы, характеризуются повышенными концентрациями железа и марганца, осадочные породы – алюминия. Характер сезонной и многолетней изменчивости содержания растворенных форм микроэлементов разнообразен, в большой степени определяется гидрологическим фактором. В многоводном 2013 г. отмечено существенное повышение стока меди и бария во всех притоках, алюминия – в р. Бурей, незначительное увеличение содержания железа отмечалось во всех притоках, кадмия – в отдельных водотоках, для остальных микроэлементов выраженного увеличения содержания не наблюдалось.



Н.М. Шестеркина В.П. Шестеркин

Створ строящейся плотины Нижне-Бурейской ГЭС расположен в 89 км от устья р. Бурей, площадь водосбора в створе ГЭС составляет 67 400 км<sup>2</sup>, площадь акватории – 153,3 км<sup>2</sup>, наибольшая ширина водохранилища – 5 км, средняя глубина – 13 м. Верхняя часть бассейна находится в зоне многолетней мерзлоты, в южной части мерзлота островная.

Водное хозяйство России № 3, 2016 г.

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

По водному режиму реки бассейна Буреи относятся к дальневосточному типу. Основным источником их питания являются дожди, доля которых в среднем 50–70 % от общего годового стока. Снеговое питание составляет 10–20 %, подземное 10–30 %.

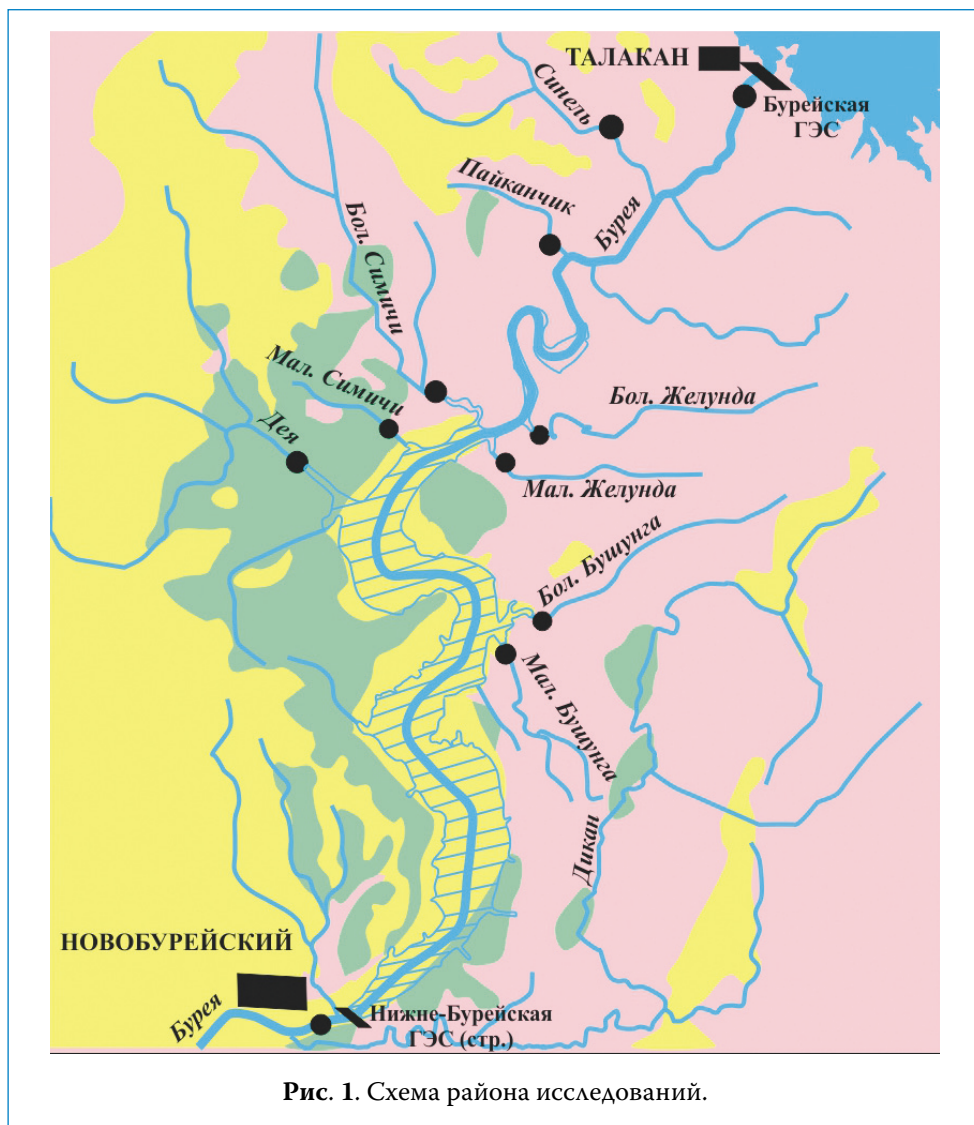
Заполнение ложа Нижне-Бурейского водохранилища запланировано на 2016 г. Основным его притоком является р. Бурей, сток которой зарегулирован в 2003 г. Сооружение плотины Бурейской ГЭС привело к значительному изменению гидрологического режима р. Буреи в нижнем течении. Существенно выросли расходы воды в зимнюю межень, в декабре–марте 2011–2014 гг. они изменялись от 682 до 757 м<sup>3</sup>/с, в среднем составив 723 м<sup>3</sup>/с. В период открытого русла расходы воды варьировали в пределах 666–1432 м<sup>3</sup>/с, максимальные значения отмечались в многоводном 2013 г. Остальные притоки по водности на два порядка ниже р. Буреи, характеризуются малой длиной (< 40 км), максимальная площадь водосбора 440 км<sup>2</sup> (р. Дея). Суммарный среднегодовой сток этих рек не превышает 9 м<sup>3</sup>/с (4,14 м<sup>3</sup>/с – р. Дея, 2,69 м<sup>3</sup>/с – р. Синель) [1]. Химический состав вод притоков формируется на водосборах, сложенных осадочными и магматическими породами, в период исследований – в условиях значительных колебаний водного стока за счет больших различий в количестве атмосферных осадков (по данным Росгидромета в г. Благовещенске в мае–сентябре 2011 г. выпало 499 мм, 2012 г. – 380, 2013 г. – 772, 2014 г. – 312 мм осадков).

Реализация масштабных проектов по строительству и эксплуатации гидроузлов, несомненно, может стать серьезным фактором вмешательства в функционирование водных экосистем и привести к изменению качества речных вод. Поэтому кроме технических мероприятий, направленных на снижение нежелательных последствий строительства, возникает необходимость ведения мониторинга поверхностных вод в зоне влияния строящихся гидроузлов. В этом плане актуальны вопросы гидрохимического мониторинга в зоне функционирующего крупного Бурейского гидроузла и строящейся новой Нижне-Бурейской ГЭС. Наиболее детально в воде притоков будущего водохранилища изучено содержание главных ионов, биогенных и органических веществ [2, 3], в меньшей степени – микроэлементов [4, 5]. Представленная работа восполняет этот пробел.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в 2011 г. в июле и октябре, в 2012–2014 гг. четыре раза, с мая по ноябрь. Пробы воды отбирали на р. Бурей: у пос. Талакан, на трех станциях равномерно распределенных по ширине русла выше и на одной станции на середине ниже плотины Нижне-Бурейской ГЭС; на правобережных малых реках. В октябре 2014 г. исследовали левобережные малые реки (рис. 1).

Период исследований в гидрологическом отношении охватывал весеннее половодье, летние паводки с переходом к глубокой осенней межени. Пробы воды отбирали с поверхности, фильтровали через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм, что позволяло определять растворенные формы микроэлементов. Анализ проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ICP-MS Agilent 7500сх в ЦКП ДВО РАН «Межрегиональный центр экологического мониторинга гидроузлов».



При оценке степени загрязненности вод использовали значения предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения, принятые для Российской Федерации [6].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По химическому составу речные воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, первому типу [7], характеризуются удовлетворительным содержанием кислорода. Значения рН варьируют в широких пределах от 5,97 до 8,10. В среднем кислотность воды р. Буреи ближе к нейтральной (6,75), притоков – сдвинута в щелочную область (табл. 1).

Минерализация воды малых рек, за исключением рек Пайканчик и Малые Симичи, менее 65 мг/дм<sup>3</sup>. Более высокая минерализация вод р. Пайканчик (табл. 1) может быть вызвана проявлениями Au, Ag, Sn на водосборе [8], а р. Малые Симичи, выделяющейся повышенными значениями рН и концентрациями гидрокарбонатов натрия, кальция и магния [2], – разгрузкой артезианских вод. Пониженные значения наблюдались в условиях высокой водности в 2013 г. В воде р. Буреи минерализация воды не превышала 38 мг/дм<sup>3</sup>.

Содержание взвешенных веществ изменяется от <3 до 36,0 мг/дм<sup>3</sup>. Наибольшие значения фиксировались при высоких уровнях воды, наименьшие – в межень. В воде р. Буреи содержание взвешенных веществ, в основном, ниже 3 мг/дм<sup>3</sup>, более высокие значения отмечались в 2013 г. при сбросах воды Бурейской ГЭС.

Заболоченность водосборов малых рек обуславливает в половодье и во время паводков повышенные значения цветности вод, ХПК и перманганатной окисляемости. В воде малых рек содержание трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) в среднем составляет 18 мг О/дм<sup>3</sup>, в р. Буреи – 24 мг О/дм<sup>3</sup> (табл. 1) Наибольшие значения отмечены в октябре 2012 г., июле 2013 г. при сбросах воды [3].

Исследуемые реки не испытывают интенсивной антропогенной нагрузки, поэтому микроэлементный состав их вод определяется, главным образом, литологией дренируемых пород. Микроэлементы характеризуются относительно невысоким содержанием, чаще всего не превышающим значений ПДК и среднемировые показатели их содержания в речных водах [9,10]. Исключение составляют Mn, Fe, Cu, Zn, Hg, единично Ba (табл. 2–4).

Известно, что существенная часть всех транспортируемых речной сетью металлов связана с взвешенными веществами. Распределение микроэлементов среди растворенной и взвешенной форм зависит от множества факторов. Однако наибольший эффект оказывают природа взвешенных веществ, компонентный состав и содержание в воде органических веществ.

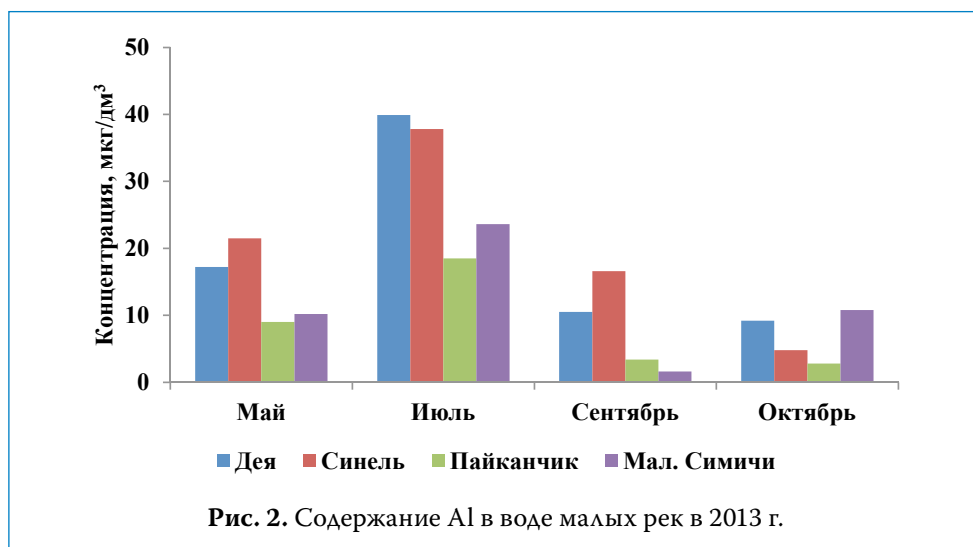
**Таблица 1.** Показатели качества вод притоков Нижне-Бурейского водохранилища

| Река, число проб                   | рН, ед. рН                        | Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>   | ХПК, мг О/дм <sup>3</sup> | ПО, мг О/дм <sup>3</sup>        | Цветность, град            | Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup> |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|---|
| Бурей, пос. Талакан, <i>n</i> = 14 | $\frac{6,72 \pm 0,27}{6,20-7,17}$ | $\frac{31,0 \pm 3,4}{27,5-37,0}$    | $\frac{25 \pm 4}{18-31}$  | $\frac{13,3 \pm 2,6}{9,0-17,9}$ | $\frac{70 \pm 15}{50-100}$ | $\frac{3,0 \pm 3,6}{<3,0-14,5}$         |
| Бурей, выше НБГЭС, <i>n</i> = 36   | $\frac{6,70 \pm 0,33}{5,97-7,19}$ | $\frac{31,4 \pm 3,3}{24,4-38,0}$    | $\frac{23 \pm 9}{12-56}$  | $\frac{13,9 \pm 3,4}{9,6-26,7}$ | $\frac{70 \pm 17}{46-100}$ | $\frac{<3,0 \pm 2,4}{<3,0-15,6}$        |
| Бурей, ниже НБГЭС, <i>n</i> = 14   | $\frac{6,83 \pm 0,28}{6,40-7,20}$ | $\frac{31,7 \pm 2,7}{26,4-35,0}$    | $\frac{23 \pm 8}{14-38}$  | $\frac{12,8 \pm 2,6}{9,7-17,1}$ | $\frac{68 \pm 17}{45-100}$ | $\frac{<3,0 \pm 2,0}{<3,0-9,2}$         |
| Синель, <i>n</i> = 14              | $\frac{7,11 \pm 0,31}{6,56-7,80}$ | $\frac{38,2 \pm 10,0}{22,3-54,4}$   | $\frac{21 \pm 7}{12-40}$  | $\frac{11,3 \pm 5,0}{4,7-18,6}$ | $\frac{51 \pm 24}{14-85}$  | $\frac{7,6 \pm 2,9}{<3,0-17,3}$         |
| Большие Симичи, <i>n</i> = 14      | $\frac{7,34 \pm 0,28}{6,93-8,00}$ | $\frac{49,2 \pm 10,8}{29,1-65,0}$   | $\frac{16 \pm 6}{<5-26}$  | $\frac{8,0 \pm 3,0}{3,7-13,0}$  | $\frac{30 \pm 15}{10-55}$  | $\frac{11,1 \pm 8,8}{<3,0-36,0}$        |
| Малые Симичи, <i>n</i> = 14        | $\frac{7,32 \pm 0,44}{6,57-8,10}$ | $\frac{129,7 \pm 59,5}{40,8-230,3}$ | $\frac{14 \pm 6}{<5-22}$  | $\frac{7,2 \pm 3,1}{3,0-13,1}$  | $\frac{28 \pm 14}{5-57}$   | $\frac{3,9 \pm 2,1}{<3,0-8,0}$          |
| Пайканчик, <i>n</i> = 14           | $\frac{7,21 \pm 0,15}{6,95-7,48}$ | $\frac{57,8 \pm 21,4}{30,3-104,0}$  | $\frac{17 \pm 9}{8-44}$   | $\frac{8,0 \pm 3,7}{4,0-16,8}$  | $\frac{47 \pm 63}{14-260}$ | $\frac{10,0 \pm 6,0}{<3,0-22,0}$        |
| Дея, <i>n</i> = 14                 | $\frac{7,01 \pm 0,32}{6,31-7,37}$ | $\frac{34,8 \pm 7,1}{24,1-48,5}$    | $\frac{18 \pm 8}{<5-34}$  | $\frac{7,8 \pm 3,2}{3,4-12,1}$  | $\frac{40 \pm 20}{14-70}$  | $\frac{7,2 \pm 3,8}{<3,0-15,6}$         |
| Большая Бушунга                    | 7,21                              | 54,6                                | 13                        | 4,6                             | 37                         | 3,2                                     |
| Малая Бушунга                      | 7,06                              | 58,6                                | 12                        | 5,6                             | 22                         | 9,6                                     |
| Большая Желунда                    | 7,38                              | 56,4                                | 14                        | 6,6                             | 26                         | 19,2                                    |
| Малая Желунда                      | 7,42                              | 51,6                                | 16                        | 5,6                             | 14                         | 11,8                                    |

Примечание: в числителе – среднее и среднеквадратичное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальные значения, *n* – число проб.

Преобладание миграции во взвеси характерно в большей степени для Al, Mn, Fe, Pb. В растворенной форме предпочтительнее мигрируют Cu, Zn, Cd и Cr, что обусловлено образованием комплексов с органическими соединениями и стабилизацией их за счет этого в водной фазе. Металлы первой группы, кроме Mn, также активно связываются в комплексы, причем степень их связывания меняется посезонно, что вызвано изменениями в составе растворенных органических веществ (РОВ) [11].

В водотоках с высоким содержанием РОВ Al преимущественно находится в составе комплексных соединений. В исследуемых малых реках его содержание в сравнении с кларковым значением для речных вод (50 мкг/дм<sup>3</sup>) [9, 10] достаточно низкое, варьирует в широких пределах (табл. 2, 4). Максимальные концентрации отмечаются в половодье и паводки (рис. 2), когда возрастает сток органических и взвешенных веществ. По уровню содержания повышенные значения характерны для вод рек Синель и Дея, дренирующих в верхней части водосборов осадочные породы.



В реках Большие и Малые Симичи и Пайканчик, дренирующих интрузивные и эффузивные породы, содержание Al значительно ниже. В р. Бурей с нейтральными значениями pH и более высоким содержанием РОВ концентрации Al на порядок выше (табл. 3) и возрастают в 1,7–2,0 раза от весны к осени при одновременном увеличении содержания РОВ. В многоводном 2013 г. при большом количестве атмосферных осадков и увеличении сбросов Бурейской ГЭС максимальные концентрации отмечались в июле и сентябре при повышенных содержаниях РОВ и взвешенных веществ, цвет-



**Таблица 2.** Содержание растворенных форм микроэлементов в воде правобережных притоков Нижне-Бурейского водохранилища, мкг/дм<sup>3</sup>

| Элемент | Название притока, число проб |                                  |                                |                             |                    |
|---------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|         | Синель,<br><i>n</i> = 14     | Большие<br>Симичи, <i>n</i> = 14 | Малые<br>Симичи, <i>n</i> = 13 | Пайканчик,<br><i>n</i> = 14 | Дея, <i>n</i> = 14 |
| Al      | <u>17,08±11,62</u>           | <u>7,23±10,17</u>                | <u>8,20±6,68</u>               | <u>6,56±4,96</u>            | <u>17,41±10,40</u> |
|         | 2,05–37,8                    | 1,97–41,6                        | 1,6–23,6                       | 1,60–18,5                   | 6,41–39,9          |
| Fe      | <u>280±260</u>               | <u>220±210</u>                   | <u>270±230</u>                 | <u>540±1190</u>             | <u>240±210</u>     |
|         | 60–570                       | 50–610                           | 100–870                        | 60–4600                     | 50–640             |
| Mn      | <u>36,24±42,98</u>           | <u>76,56±13,15</u>               | <u>138,4±143,6</u>             | <u>145,9±127,0</u>          | <u>13,9±13,8</u>   |
|         | 0,34–131,1                   | 0,86–221,1                       | 0,73–532,0                     | 0,82–426,3                  | 0,55–39,67         |
| Ba      | <u>8,33±3,26</u>             | <u>12,32±4,94</u>                | <u>83,35±205</u>               | <u>11,09±4,04</u>           | <u>7,39±4,08</u>   |
|         | 3,78–12,50                   | 6,46–19,57                       | 13,02–765                      | 6,10–17,02                  | 3,48–17,86         |
| Zn      | <u>20,24±12,50</u>           | <u>20,47±17,13</u>               | <u>15,92±9,56</u>              | <u>14,23±8,42</u>           | <u>18,40±10,68</u> |
|         | 1,96–41,77                   | 0,57–59,3                        | 3,25–36,0                      | 2,50–26,90                  | 1,81–32,79         |
| Cu      | <u>4,69±6,42</u>             | <u>6,28±10,06</u>                | <u>4,73±5,93</u>               | <u>4,40±6,25</u>            | <u>4,80±2,87</u>   |
|         | 0,43–24,4                    | 0,10–38,6                        | 0,35–20,8                      | 0,50–24,2                   | 0,50–15,2          |
| Hg      | <u>0,03±0,03</u>             | <u>0,02±0,02</u>                 | <u>0,04±0,05</u>               | <u>0,02±0,02</u>            | <u>0,03±0,03</u>   |
|         | <0,01–0,13                   | <0,01–0,06                       | <0,01–0,16                     | <0,01–0,06                  | <0,01–0,11         |
| Cd      | <u>0,48±1,09</u>             | <u>0,22±0,44</u>                 | <u>0,05±0,03</u>               | <u>0,08±0,06</u>            | <u>0,08±0,08</u>   |
|         | 0,01–3,34                    | 0,02–1,68                        | 0,02–0,08                      | 0,02–0,15                   | 0,02–0,16          |
| Co      | <u>0,14±0,09</u>             | <u>0,13±0,08</u>                 | <u>0,22±0,18</u>               | <u>0,20±0,19</u>            | <u>0,04±0,02</u>   |
|         | 0,05–0,29                    | 0,05–0,27                        | 0,05–0,54                      | 0,05–0,62                   | 0,04–0,13          |
| Ni      | <u>1,16±0,45</u>             | <u>1,03±0,49</u>                 | <u>1,37±0,51</u>               | <u>0,98±0,37</u>            | <u>0,94±0,45</u>   |
|         | 0,61–1,98                    | 0,52–2,10                        | 0,72–2,29                      | 0,38–1,78                   | 0,31–1,83          |
| Pb      | <u>0,28±0,22</u>             | <u>0,74±1,18</u>                 | <u>0,22±0,18</u>               | <u>0,14±0,09</u>            | <u>0,88±1,58</u>   |
|         | 0,11–0,71                    | 0,10–3,34                        | 0,05–0,55                      | 0,06–0,32                   | 0,11–4,08          |
| As      | <u>0,32±0,09</u>             | <u>0,33±0,07</u>                 | <u>0,29±0,08</u>               | <u>0,25±0,18</u>            | <u>0,33±0,14</u>   |
|         | 0,21–0,46                    | 0,23–0,43                        | 0,23–0,44                      | 0,14–0,60                   | 0,19–0,56          |
| Cr      | <u>0,10±0,05</u>             | <0,10                            | <0,10                          | <0,10                       | <u>0,04±0,13</u>   |
|         | 0,06–0,13                    | <0,10–0,26                       | <0,10–0,34                     | <0,10–0,12                  | 0,07–0,25          |
| Be      | <u>0,02</u>                  | 0,01                             | 0,01                           | <u>0,02</u>                 | <u>0,02</u>        |
|         | 0,01–0,02                    | 0,01                             | 0,01                           | 0,01–0,02                   | 0,01–0,02          |
| B       | <u>1,17±1,95</u>             | <u>2,01±2,27</u>                 | <u>4,42±6,40</u>               | <u>1,72±2,42</u>            | <u>2,30±2,68</u>   |
|         | 0,04–4,63                    | 0,40–5,95                        | 0,84–15,77                     | 0,05–5,26                   | 0,55–6,86          |
| Mo      | <u>0,19±0,09</u>             | <u>0,25±0,18</u>                 | <u>0,21±0,11</u>               | <u>0,15±0,08</u>            | <u>0,25±0,18</u>   |
|         | 0,09–0,36                    | 0,11–0,72                        | 0,10–0,43                      | 0,04–0,28                   | 0,08–0,58          |
| Sb      | <u>0,03±0,02</u>             | <u>0,05±0,06</u>                 | <u>0,05±0,03</u>               | <u>0,03±0,01</u>            | <u>0,05±0,02</u>   |
|         | 0,01–0,05                    | 0,01–0,16                        | 0,03–0,10                      | 0,01–0,04                   | 0,03–0,07          |
| Se      | <u>0,09±0,05</u>             | <u>0,08±0,05</u>                 | <u>0,13±0,06</u>               | <u>0,08±0,05</u>            | <u>0,10±0,06</u>   |
|         | 0,03–0,15                    | 0,02–0,14                        | 0,04–0,22                      | 0,03–0,15                   | 0,01–0,16          |
| V       | <u>0,06±0,03</u>             | <u>0,04±0,02</u>                 | <u>0,07±0,07</u>               | <u>0,04±0,02</u>            | <u>0,08±0,05</u>   |
|         | 0,03–0,10                    | 0,03–0,07                        | 0,02–0,17                      | 0,03–0,08                   | 0,05–0,17          |

Примечание: жирным шрифтом выделены случаи превышения ПДК; в числителе – среднее и средне-квадратичное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальные значения, *n* – число проб.

ности воды. По длине р. Буря незначительное превышение средних концентраций Al наблюдается выше плотины Нижне-Бурейской ГЭС. Такое же распределение характерно для Fe, Zn, Cu, Ni. Повышенные концентрации металлов, очевидно, обусловлены преобразованиями на водосборе, которые способствуют повышению роли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции микроэлементов за счет миграции в условно растворенной форме (фильтрат 0,45 мкм) [3].

Цинк в воде рек мигрирует в ионной форме или в форме его минеральных и органических комплексов. В воде рек бассейна р. Уссури до 20 % Zn мигрирует в тонкодисперсной или крупно-коллоидной форме (0,1–0,45 мкм), что может несколько завышать содержание истинно растворенных форм [4]. В притоках Нижне-Бурейского водохранилища средние концентрации варьировали в узких пределах: 14,2–26,3 мкг/дм<sup>3</sup> (табл. 2–4). Тренд сезонных изменений в р. Буря и малых реках был одинаков. В 2011–2012 гг. содержание Zn повышалось в октябре–ноябре. В 2013 г. максимальные концентрации отмечались в июле в паводок, в 2014 г. в мае во время половодья. Таким образом, характер сезонной изменчивости растворенных форм Zn в реках разнообразен и определялся комбинацией контролирующих факторов.

Марганец в отличие от других металлов менее всего связывается в комплексы. Содержание его в воде определяется интенсивностью потребления при фотосинтезе, разложением водорослей и высшей водной растительности, процессами осаждения на дно и др. В воде исследуемых рек содержание Mn изменялось в широких пределах. Максимальные и высокие значения средних концентраций отмечены в воде рек Малые Симичи и Пайканчик, дренирующих преимущественно эффузивные породы. Временные колебания содержания в них определялись, в основном, соотношением поверхностного и подземного стока, обуславливающих значительное увеличение концентрации Mn осенью. В реках Дея и Синель среднее содержание Mn было значительно ниже, хотя сезонная динамика сохранялась. Концентрации Mn в воде р. Буря сопоставимы со значениями для рек Дея и Синель. По длине реки от пос. Талакан до пос. Новобурейский содержание Mn снижается, что может быть связано с его перераспределением между растворенной и взвешенной формами при изменении параметров среды, а также за счет потребления водорослями.

Ландшафтно-климатические условия бассейна Буреи обуславливают появление обширных заболоченных территорий, определяющих образование Fe-органических комплексов. Сезонные изменения содержания железа связаны с вариациями гидрологического режима. Повышение концентраций отмечалось летом и осенью за счет поступления с водосбора в



**Таблица 3.** Содержание растворенных форм микроэлементов в воде р. Бурей, мкг/дм<sup>3</sup>

| Элемент | Название притока, число проб      |   |   |
|---------|-----------------------------------|---|---|
|         | пос. Талакан, <i>n</i> = 14       | Выше Нижне-Бурейской ГЭС, <i>n</i> = 36 | Ниже Нижне-Бурейской ГЭС, <i>n</i> = 14 |
| Al      | <b>93,03±44,42</b><br>39,88–210,8 | <b>102,38±51,61</b><br>34,71–241,0      | <b>84,53±51,86</b><br>33,53–153,9       |
| Fe      | <b>200,0±110,0</b><br>90–390      | <b>220,0±120,0</b><br>90,0–490,0        | <b>190,0±110,0</b><br>90–430,0          |
| Mn      | <b>44,15±21,61</b><br>13,86–97,42 | <b>15,23±15,26</b><br>1,04–61,66        | <b>13,65±14,88</b><br>1,11–56,41        |
| Ba      | <b>7,57±2,45</b><br>4,27–11,1     | <b>6,60±2,56</b><br>1,70–10,99          | <b>6,93±2,21</b><br>4,02–11,57          |
| Zn      | <b>22,04±12,40</b><br>6,93–49,5   | <b>26,29±12,42</b><br>3,53–97,6         | <b>18,07±11,24</b><br>0,10–42,43        |
| Cu      | <b>5,08±7,58</b><br>0,50–29,9     | <b>8,05±9,73</b><br>0,33–41,2           | <b>5,12±5,82</b><br>0,43–22,1           |
| Hg      | <b>0,02±0,03</b><br><0,01–0,11    | <b>0,03±0,04</b><br><0,01–0,22          | <b>0,02±0,03</b><br><0,01–0,09          |
| Cd      | <b>0,05±0,04</b><br>0,01–0,12     | <b>0,04±0,02</b><br>0,02–0,09           | <b>0,08±0,08</b><br>0,02–0,14           |
| Co      | <b>0,04±0,02</b><br>0,02–0,06     | <b>0,03±0,01</b><br>0,02–0,05           | <b>0,03±0,006</b><br>0,02–0,04          |
| Ni      | <b>0,72±0,22</b><br>0,44–1,13     | <b>0,89±0,38</b><br>0,45–1,60           | <b>0,71±0,29</b><br>0,48–1,48           |
| Pb      | <b>0,37±0,36</b><br>0,04–0,91     | <b>0,26±0,16</b><br>0,04–0,53           | <b>0,37±0,37</b><br>0,09–0,90           |
| As      | <b>0,30±0,06</b><br>0,21–0,37     | <b>0,32±0,07</b><br>0,23–0,45           | <b>0,31±0,05</b><br>0,23–0,36           |
| Cr      | <b>0,04±0,02</b><br>0,02–0,06     | <b>0,22±0,09</b><br>0,14–0,37           | <b>0,08±0,08</b><br>0,03–0,19           |
| Be      | <b>0,02±0,01</b><br>0,01–0,03     | <b>0,03±0,006</b><br>0,01–0,03          | <b>0,02±0,01</b><br>0,01–0,03           |
| B       | <b>1,41±1,48</b><br>0,17–3,87     | <b>3,28±2,27</b><br>1,23–7,44           | <b>2,81±1,87</b><br>1,04–5,61           |
| Mo      | <b>0,18±0,05</b><br>0,11–0,27     | <b>0,28±0,17</b><br>0,14–0,91           | <b>0,26±0,18</b><br>0,13–0,73           |
| Sb      | <b>0,08±0,07</b><br>0,02–0,21     | <b>0,06±0,03</b><br>0,01–0,10           | <b>0,06±0,02</b><br>0,03–0,09           |
| Se      | <b>0,10±0,07</b><br>0,02–0,19     | <b>0,16±0,11</b><br>0,03–0,35           | <b>0,08±0,06</b><br>0,02–0,24           |
| V       | <b>0,06±0,02</b><br>0,03–0,08     | <b>0,07±0,04</b><br>0,05–0,18           | <b>0,06±0,02</b><br>0,01–0,07           |

Примечание: жирным шрифтом выделены случаи превышения ПДК; в числителе – среднее и средне-квадратичное отклонение, в знаменателе – минимальное и максимальные значения, *n* – число проб.

**Таблица 4.** Содержание растворенных форм микроэлементов в воде левобережных притоков Нижне-Бурейского водохранилища, мкг/дм<sup>3</sup>

| Элемент | Название притока |               |                 |               |
|---------|------------------|---------------|-----------------|---------------|
|         | Большая Бушунга  | Малая Бушунга | Большая Желунда | Малая Желунда |
| Al      | 27,15            | 13,09         | 22,88           | 38,09         |
| Fe      | <b>250,0</b>     | 90,0          | <b>140,0</b>    | 60,0          |
| Mn      | <b>13,98</b>     | <b>32,27</b>  | 1,09            | 0,73          |
| Ba      | 6,66             | 7,50          | 8,91            | 11,43         |
| Zn      | 5,68             | 6,39          | 3,78            | <b>10,65</b>  |
| Cu      | 0,81             | <b>1,51</b>   | <b>1,76</b>     | <b>7,64</b>   |
| Hg      | <b>0,05</b>      | 0,01          | <b>0,02</b>     | 0,01          |
| Cd      | 0,02             | 0,02          | 0,02            | 0,02          |
| Co      | 0,05             | 0,07          | 0,03            | 0,03          |
| Ni      | 0,72             | 0,86          | 0,57            | 0,54          |
| Pb      | 0,08             | 0,06          | 0,09            | 0,24          |
| As      | 0,17             | 0,15          | 0,12            | 0,09          |
| Cr      | <0,10            | <0,10         | <0,10           | <0,10         |
| Be      | 0,01             | 0,01          | 0,01            | 0,01          |
| B       | 0,37             | 0,44          | 0,03            | 0,03          |
| Mo      | 0,21             | 0,15          | 0,39            | 0,16          |
| Sb      | 0,04             | 0,05          | 0,04            | 0,03          |
| Se      | 0,13             | 0,12          | 0,12            | 0,24          |
| V       | 0,05             | 0,04          | 0,04            | 0,03          |

*Примечание:* жирным шрифтом выделены случаи превышения ПДК.

период интенсивных дождей. Максимальные за период наблюдений значения отмечались в малых реках в июле 2011 г. В воде р. Пайканчик концентрация Fe достигала 4,60 мг/дм<sup>3</sup> при высоких значениях цветности (260 градусов цветности) и ХПК (44 мг О/дм<sup>3</sup>). Повышенным было и содержание Mn (426,3 мкг/дм<sup>3</sup>) как наиболее подвижного элемента по отношению к железу. Увеличение содержания взвешенных веществ до 22 мг/дм<sup>3</sup>, вероятно, определило возрастание роли тонкодисперсного вещества в растворенной фракции. В воде р. Буреи средние концентрации Fe и максимальные значения пределов колебания были ниже, чем в малых реках.

Диапазон средних концентраций Pb в воде исследуемых рек (табл. 2–4) находится в пределах средних значений для рек мира (1 мкг/дм<sup>3</sup>) [10]. Повышенное содержание характерно для воды рек Большие Симичи и Дея, на водосборах которых отмечаются проявления золота, серебра, молибдена

и других металлов [8]. В этих же водотоках отмечались максимальные за период наблюдений концентрации Pb (3,34 и 4,08 мкг/дм<sup>3</sup> соответственно) в мае 2014 г. на фоне незначительного повышения содержания взвешенных веществ. В остальных малых реках концентрации были на порядок ниже.

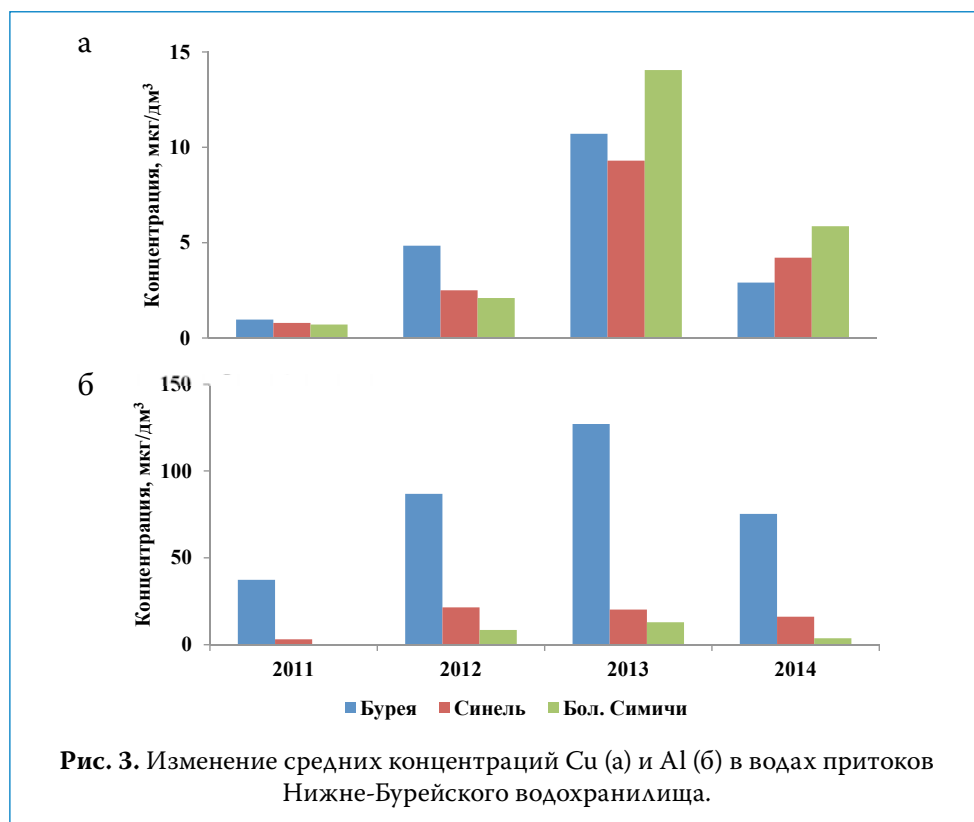
Средние концентрации Cu в р. Бурей и малых реках были одного порядка и превышали ПДК (1,00 мкг/ дм<sup>3</sup>) (табл. 2–4). Для сезонной изменчивости характерна большая вариабельность значений от десятых долей до десятков мкг/дм<sup>3</sup>. Медь образует прочные комплексы со многими органическими веществами (ОВ), причем устойчивость их значительно выше устойчивости комплексов других металлов. Транспорт и мобилизация органических комплексов меди, главным образом фульватных, усиливаются в паводки и половодье. Поэтому максимальные концентрации (15,2–38,6 мкг/дм<sup>3</sup>) в малых реках и до 41,2 мкг/дм<sup>3</sup> в р. Бурее наблюдались в период интенсивных дождей в 2013 г., обусловивших увеличение содержания РОВ, цветности воды и вынос металлов, мобилизуемых из почв и растительности (рис. 3). Повышенные концентрации Cu отмечены весной 2013 и 2014 гг. Концентрации Cr изменялись в небольших пределах, средние значения составляли десятые и сотые доли мкг/дм<sup>3</sup>.

Среднее содержание Ba для рек мира составляет 20 мкг/дм<sup>3</sup> [10]. В притоках Нижне-Бурейского водохранилища, за исключением р. Малые Симичи, концентрации значительно ниже. Повышенный сток отмечался в паводки 2013 г. и осеннюю межень 2012 г. Концентрации Ba в воде р. Малые Симичи (табл. 2) на фоне остальных рек значительно выше, что может быть вызвано разгрузкой подземных вод артезианских бассейнов. Большое распространение содержащие барий подземные воды имеют в Среднеамурском, Верхнебуреинском и других межгорных артезианских бассейнах, в последнем концентрации этого элемента достигает 0,4 мг/дм<sup>3</sup> [12].

Кадмий в воде притоков Нижне-Бурейского водохранилища, за исключением рек Синель и Большие Симичи, составляет сотые, реже десятые доли мкг/дм<sup>3</sup>, что соответствует среднему значению для рек мира [9, 10] (табл. 2–4). Средние концентрации Cd в реках Синель и Большие Симичи на порядок выше за счет разовых повышенных значений (3,34 и 1,68 мкг/дм<sup>3</sup> соответственно) в многоводном 2013 г.

Для содержания Ni характерно относительно равномерное распределение. Средние концентрации варьируют в пределах 1 мкг/дм<sup>3</sup>: 0,94–1,37 мкг/дм<sup>3</sup> в малых реках и 0,71–0,89 мкг/дм<sup>3</sup> в р. Бурее. Для сезонного распределения характерны незначительные колебания с повышением содержания в половодье и паводки.

Кобальт в воде рек обнаруживается реже, чем Ni, что можно объяснить его меньшей миграционной способностью и низким содержанием в горных породах [13]. Концентрации Co в воде малых рек и р. Бурее составляли со-



тые доли мкг/дм<sup>3</sup>, возрастая иногда до десятых долей в осеннюю межень в октябре-ноябре. Повышенные значения характерны для рек Малые Симичи и Пайканчик (табл. 2).

Содержание As в водах притоков низкое, ниже среднего значения для рек мира (2,0 мкг/дм<sup>3</sup>) [10]. Невысокие концентрации (0,30–0,32 мкг/дм<sup>3</sup> средние значения) с узким интервалом колебания (0,21–0,45 мкг/дм<sup>3</sup>) характерны для воды р. Бурей и малых рек бассейна (0,25–0,33 мкг/дм<sup>3</sup> средние значения с интервалом 0,14–0,60 мкг/дм<sup>3</sup>). Незначительное повышение содержания As отмечалось в мае и июле.

Концентрации Be, Sb, V низкие, составляли сотые доли мкг/дм<sup>3</sup>. Несколько выше, до десятых долей мкг/дм<sup>3</sup>, содержание Se. Небольшое сезонное повышение концентраций отмечалось в весеннее половодье и осенью. Концентрации Mo составляли десятые доли мкг/дм<sup>3</sup>, средние значения были сопоставимы с содержанием в таежных реках бассейна р. Амур [4].

Бор в природных водах в виде ионов борных кислот присутствует повсеместно в незначительных количествах [13]. Щелочные воды более бога-

ты В, чем жесткие, что связано с лучшей растворимостью натриевых солей борных кислот по сравнению с кальциевыми и магниевыми. В воде исследованных рек содержание В изменялось в узком интервале. Наибольшие значения наблюдались в воде р. Малые Симичи с повышенными по сравнению с остальными притоками величиной рН и содержанием иона натрия [2]. Для сезонного изменения характерно увеличение весной.

Ртуть характеризуется высокой интенсивностью вовлечения в водную миграцию, активно поглощается водорослями, легко сорбируется почвами, образуя комплексы с гумусовыми кислотами (ГК), сорбционная емкость которых по отношению к ионам Hg (II) весьма высока [14]. Во многих водотоках Hg в виде киновари встречается в современных речных отложениях (шлахах), особенно в местах распространения россыпей золота и его шлиховых ореолов [15]. Средние концентрации Hg в бассейне р. Буреи в 2–4 раза превышали значение ПДК (0,01 мкг/дм<sup>3</sup>) в воде притоков и в 2–3 раза в основной реке. Превышение ПДК отмечалось в 43 % проб воды малых рек и 62 % р. Буреи. Оценка средних квадратичных отклонений свидетельствует о значительном рассеянии концентраций вокруг средних значений. Для малых рек максимальные концентрации отмечались в р. Дея – 0,11 мкг/дм<sup>3</sup>, Синель – 0,13 мкг/дм<sup>3</sup>, дренирующих осадочные породы, и в р. Малые Симичи – 0,16 мкг/дм<sup>3</sup>. Максимальная за период наблюдений концентрация Hg в воде р. Буреи (0,22 мкг/дм<sup>3</sup>) наблюдалась в мае 2014 г. у пос. Талакан. Исследования, выполненные на Курейском водохранилище, показали, что при его наполнении Hg аккумулируется в поверхностном гумусовом слое затопленных почв, в формирующихся донных отложениях и мышцах рыб [16]. Аналогичная ситуация наблюдалась при наполнении канадских водохранилищ, снижение концентраций Hg в мышцах рыб зарегистрировано в водохранилищах, возраст которых составлял 35 и более лет [17].

Влияние гидрологической обстановки на водосборе проявлялось в увеличении (до 75 %) количества проб, превышающих ПДК, в условиях низкой водности в р. Бурее. Повышенные концентрации Hg в условиях низкой водности в июне 2012 г. отмечались во всех водотоках (за исключением р. Пайканчик). В многоводном 2013 г. содержание Hg, в основном, было ниже 0,01 мкг/дм<sup>3</sup>, в засушливом 2014 г. концентрации Hg в малых реках незначительно превышали значения ПДК.

Разовый отбор проб в 2014 г. на левых притоках Нижне-Бурейского водохранилища свидетельствует о близости их химического состава с водами правых притоков: слабощелочная рН, низкая (до 58 мг/дм<sup>3</sup>) минерализация воды (табл. 2, 4). Соподчиненное влияние зональных факторов формирования лево- и правобережных притоков определяет близость их химического состава и геохимической обстановки, в которой они формируются. Концентрации металлов в воде левых и правых притоков в эти сроки от-

бора сопоставимы. Незначительные различия отмечаются для Al и Mn. Содержание Al в воде левых притоков было выше, а Mn значительно ниже по сравнению с правыми притоками.

Как уже отмечалось, химический состав вод в бассейне в период исследований формировался при значительных колебаниях водного стока за счет больших различий в количестве атмосферных осадков. В 2013 г. в бассейне Амура отмечалось историческое (впервые за 115 лет наблюдений) наводнение, обусловленное последовательным участием и наложением паводков на основных притоках (Зея, Буряя, Сунгари, Уссури). Гидрологический фактор в данных условиях оказал большое влияние на сток растворенных веществ. В условиях высокой водности в 2013 г. содержание Cu в р. Бурее и притоках было в 2,0–2,6 раза выше средних за период наблюдений значений, Al в 1,2–1,8 раза, незначительное повышение содержания Fe отмечалось во всех притоках, Cd – только в реках Большие Симичи и Синель, для остальных металлов выраженного увеличения содержания не наблюдалось (рис. 3).

### ВЫВОДЫ

Притоки Нижне-Бурейского водохранилища характеризуются значительными вариациями физико-химических характеристик: величины pH, содержания взвешенных веществ, концентраций растворенных форм отдельных металлов. Содержание растворенных форм металлов в воде р. Бурейи и ее притоках, в основном, невысокое и сопоставимо со среднемировыми значениями в речных водах. Исключение составляют концентрации Fe, Mn, Cu, Hg, которые зачастую превышают значения ПДК. В отсутствии интенсивной антропогенной нагрузки их повышенное содержание, очевидно, соответствует естественному геохимическому фону территории, указывает на значительную роль заболоченных таежных ландшафтов и подземной составляющей в питании отдельных рек, возрастающей в условиях низкой водности. Характер сезонной изменчивости растворенных форм металлов разнообразен, в большой степени определяется гидрологическим фактором.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мордовин А.М., Шестеркин В.П., Антонов А.Л.* Река Буряя: гидрология, гидрохимия, ихтиофауна. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2006. 146 с.
2. *Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Таловская В.С., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А., Ри Т.Д., Матвеева Е.П.* Гидрохимия притоков Нижне-Бурейского водохранилища // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Мат-лы. всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2010. С. 176–179.
3. *Шестеркин В.П., Сиротский С.Е., Шестеркина Н.М.* Воздействие гидроэнергетического строительства на содержание и сток растворенных веществ в воде реки Буряя // Водное хозяйство России. 2014. № 4. С. 72–83.



4. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. 2011. № 5. С. 606–617.
5. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Микроэлементы в воде малых рек – притоков Нижне-Бурейского водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Тр. V междунар. науч. конф. Т. 2. Пермь. 2015. С. 183–187.
6. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Приказ Росрыболовства от 18.01.2010 № 20.
7. Алевкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 440 с.
8. Петрук Н.Н., Волкова Ю.Р., Шилова М.Н., Мялик А.В., Шадрин Н.И., Азарова И.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Дальневосточная. Лист М 52. Благовещенск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 496 с.
9. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М.: Мысль, 1983. 272 с.
10. Hitchon B., Perkins E.N., Gunter W.D. Introduction to the Ground Water Geochemistry. Sherwood Park; Alberta: Geoscience Publishing Ltd., 1999. 310 p.
11. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.
12. Кулаков В.В. Геохимия подземных вод Приамурья. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. 254 с.
13. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия Л.: Недра, 1975. 207 с.
14. Варшал Г.М., Кошечева И.Я., Хушвахтова С. Д., Холин Ю.В., Тютюник О.А. О механизме сорбции ртути (II) гуминовыми кислотами // Почвоведение. 1998. № 9. С. 1071–1078.
15. Буряк В.А., Рянский Ф.Н., Хмелевская Н.М. Геохимическая специализация как основа при медико-биологическом и эколого-ландшафтном районировании (на примере Азиатско-Тихоокеанского региона). Биробиджан. 1998. 76 с.
16. Сорокикова Л.М. Качество воды Саяно-Шушенского и Курейского водохранилищ в период наполнения // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ. Мат-лы всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск, 2010. С. 147–151.
17. Jackson T.A. The mercury problem in recently formed reservoirs of Northern Manitoba (Canada): effects of impoundment and other factors on the production of methyl mercury by microorganism in sediments // Can. J. Fish. Aquat. Sci., 1988. Vol. 45. P. 97–121.

#### Сведения об авторах:

Шестеркина Нина Михайловна, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», Россия, 680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: shesterkina@iver.as.khb.ru

Шестеркин Владимир Павлович, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения Российской академии наук», Россия, 680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56; e-mail: shesterkin@iver.as.khb.ru