

Содержание токсичных элементов в воде и макроводорослях в водных объектах бассейна трансграничной реки Аргунь (Россия)

© 2019. А. П. Ку克林, к. б. н., н. с., Г. Ц. Цыбекмитова, к. б. н., с. н. с.,
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
672014, Россия, г. Чита, ул. Недорезова, 16 а,
e-mail: kap0@mail.ru, gazhit@bk.ru

Река Аргунь, как приграничный водоток между Россией и Китаем, является своеобразным индикатором загрязнения на её водосборной территории. Проведённая оценка содержания 12 токсичных элементов в воде и в макроводорослях восьми притоков российской части бассейна р. Аргунь и в реке Аргунь (семь створов), показала наибольшее загрязнение вод реки Средняя Борзя. Содержание токсичных элементов в воде реки Средняя Борзя, ниже участков промывки золота, составило (мкг/дм³): Mn – 171, Fe – 4994, Cu – 66, Zn – 102, As – 7, Mo – 3, Hg – 0,02, Pb – 13, что в несколько раз превышает ПДК данных металлов для рыбохозяйственных водоёмов. Высокое содержание Fe и Mn в реках бассейна связано с особенностями горных пород исследуемой территории. Отмеченные токсичные элементы могут переноситься с твёрдым стоком на большие расстояния, оседать в донных отложениях, тем самым подвергать водотоки вторичному загрязнению. Для большинства водотоков выявлено превышение числа токсичных элементов в *Cladophora fracta* из бассейна р. Аргунь относительно фоновых концентраций, характерных для водоёмов Забайкальского края. Наибольшие отличия зарегистрированы в пробах водорослей из резервного водохранилища г. Краснокаменска (Zn, As, Ni), в р. Средняя Борзя (Mo, Cd, Pb), в р. Калга (Mn, Co, Mo). В водохранилище г. Краснокаменска в зимнее время производится закачка воды из р. Аргунь, имеющая самую высокую минерализацию в этот период. Полученные результаты могут быть использованы в мониторинге загрязнения водной среды токсичными элементами и для принятия управленческих решений.

Ключевые слова: загрязнение, поверхностные воды, мониторинг, *Cladophora fracta*.

Content of toxic elements in water and macroalgae of the Argun River (Russia) basin water courses

© 2019. А. П. Kuklin ORCID: 0000-0002-0225-6582, G. Ts. Tsybekmitova ORCID: 0000-0001-6034-820X,
Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS,
16 a, Nedorezova St., Chita, Russia, 672014,
e-mail: kap0@mail.ru, gazhit@bk.ru

The Argun River, as a transboundary stream flow between Russia and China, is an indicator of the existing pollution in its catchment area. The estimated content of 12 toxic elements in water and in macro-algae of eight tributaries of the Russian part of the basin of the Argun and in the Argun (seven sections), showed the greatest pollution of the waters of the river Srednyaya Borzya. The content of toxic elements in the water of the Srednyaya Borzya, below the gold washing areas, is (mkg/dm³): Mn – 171, Fe – 4994, Cu – 66, Zn – 102, As – 7, Mo – 3, Hg – 0.02, Pb – 13, which is several times higher than maximum permissible concentration of these metals. The high content of Fe and Mn among heavy metals in the rivers of the basin is connected with the specific features of the rocks in the study area. The marked toxic elements can be transported with solid runoff over long distances, settle in bottom sediments, thereby subjecting stream flows to secondary pollution. For most of the stream flows, it was exceeded the number of toxic elements in *Cladophora fracta* from the basin of the river Argun, relative to the background concentrations, typical for the water bodies of Zabaikalsky Krai. The greatest differences were recorded in samples of algae from the reserve reservoir of Krasnokamensk (Zn, As, Ni), in the river Srednyaya Borzya (Mo, Cd, Pb), in the river Kalga (Mn, Co, Mo). In the reservoir of Krasnokamensk in wintertime, water is pumped from the river Argun, which has the highest mineralization in this period. The obtained results can be used in monitoring of water pollution by toxic elements and for making managerial decisions.

Keywords: minerals, pollution, surface water, monitoring, *Cladophora fracta*.

Река Аргунь от истоков до границы с Российской Федерацией (РФ) протекает по территории Китайской Народной Республики (КНР) и называется Хайлар. Далее река до устья является пограничной между РФ и КНР. В бассейне р. Аргунь разведаны месторождениями полезных ископаемых [1, 2]. Поэтому остро стоит проблема загрязнения токсичными элементами (ТЭ) как в России [3], так и в КНР [4]. Рассмотрение вопроса о трансграничном переносе загрязнений по р. Аргунь невозможно без объективной информации об экотоксикологическом состоянии водных объектов всего бассейна. В статье обсуждаются результаты, полученные в границах Забайкальского края РФ. Целью наших исследований была оценка содержания ТЭ в воде и в макроводорослях как индикаторах состояния среды в водотоках российской части бассейна р. Аргунь.

Объекты и методы

В статье приведены результаты исследований в бассейне р. Аргунь, проведённых с 15 по 28 июля 2013 г. Сбор проб проводили на 15 станциях 10 рек бассейна р. Аргунь (табл. 1). Были отобраны 10 проб воды и собраны 17 проб макроводорослей. Физико-химические параметры воды (рН, минерализация, температура, содержание кислорода) определяли

на приборе «AQWA-метр» (Германия), содержание азота и фосфора – на спектрофотометре DR-2800 (Германия) (табл. 1). Воду для определения ТЭ сразу пропускали через мембранный фильтр в инертные пластиковые пробирки объёмом 15 мл, подкисляли фильтрат до рН менее 2 (*Nitric acid 65% Suprapur, Merck*). Методика пробоподготовки водорослей к анализу изложена в [5]. Анализ содержания ТЭ в воде и водорослях проведён методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (прибор ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США)). Чувствительность метода составляла 10^{-3} мг/кг. Оценка экологического состояния водотоков производилась по отношению к ПДК_{рх} (предельно допустимая концентрация в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей) [6].

При оценке состояния среды нами принято, что двойное превышение над расчётными фоновыми содержаниями обусловлено региональными особенностями территории, превышение свыше 2 раз – рассматривается как загрязнение. Большие различия в содержании химических элементов в *Cladophora fracta* из разных мест Забайкальского края обуславливают высокое стандартное отклонение, сравнимое для ряда элементов со средними значениями. При расчёте фоновых концентраций элементов для макроводорослей

Таблица 1 / Table 1
Физико-химическая характеристика вод бассейна р. Аргунь (РФ) в июле 2013 г.
Physico-chemical characteristics of the waters of the basin of the river Argun (RF) in July 2013

| № | Широта / Latitude | Долгота / Longitude | Показатели / Indicators | | | | | | | | | |
|----|-------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------------|-------|------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----|--|
| | | | глубина / depth, m | мутность / turbidity, ЕМФ/FTU | t, °C | рН | O ₂ | N _{общ / total} | P _{мин / inorg} | P _{общ / total} | TDS | |
| | | | | | | | мг/дм ³ / mg/dm ³ | | | | | |
| 1 | 49°32,233' | 117°52,136' | 0,5 | 21,4 | 22,9 | 7,14 | 6,5 | 0,18 | 0,10 | 0,34 | 102 | |
| 2 | 49°32,265' | 117°48,987' | 2,0 | 0 | 22,9 | 7,46 | 5,7 | 0,18 | 0,10 | 0,34 | 112 | |
| 3 | 49°32,881' | 117°50,3262' | 3,0 | 0 | 23,4 | 7,34 | 6,3 | 0,18 | 0,13 | 0,37 | 113 | |
| 4 | 50°21,3979' | 119°11,9621' | 2,5 | 4,2 | 19,5 | 7,26 | 10,8 | 0,14 | 0,03 | 0,14 | 57 | |
| 5 | 50°09,7147' | 119°18,8753' | 2,6 | 41,4 | 22,8 | 7,22 | 4,4 | 0,16 | 0,06 | 0,19 | 104 | |
| 6 | 51°21,8713' | 119°56,0923' | 1,5 | 5,7 | 21,1 | 7,34 | 8,1 | 0,01 | 0,05 | 0,12 | 72 | |
| 7 | 50°24,414' | 118°39,136' | 1,1 | 0 | 22,6 | 7,90 | 13,5 | 0,16 | 0,04 | 0,40 | 555 | |
| 8 | 50°20,5745' | 119°06,045' | 1,2 | 0 | 28,0 | 8,51 | – | 0,24 | 0,04 | 0,14 | 408 | |
| 9 | 51°03,3167' | 118°49,1421' | 0,7 | 2,0 | 9,3 | 7,51 | 12,2 | 0,14 | – | 0,09 | 30 | |
| 10 | 50°58,0698' | 119°22,5051' | 0,5 | 223,0 | 21,5 | 7,92 | 8,3 | 0,23 | 0,12 | 0,24 | 121 | |
| 11 | 51°23,4677' | 119°37,4024' | 1,0 | 0,1 | 13,7 | 7,6 | 10,3 | 0,23 | – | – | 130 | |
| 12 | 51°26,9432' | 119°03,3061' | 1,5 | 0 | 14,8 | 7,39 | 8,4 | 0,10 | 0,01 | 0,06 | 78 | |
| 13 | 51°19,0583' | 118°10,7928' | 1,6 | 0 | 19,4 | 7,35 | 8,2 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 77 | |
| 14 | 49°59,128' | 118°12,457' | 7,0 | – | 21,9 | 8,31 | 8,5 | 0,15 | 0,03 | 0,08 | 185 | |
| 15 | 50°55,435' | 118°53,771' | 0,2 | – | 17,1 | – | – | – | – | – | – | |

Примечание: «–» нет измерений, TDS – общая минерализация
Note: “–” no measurements, TDS – total dissolved solids.

Таблица 2 / Table 2

Содержание токсичных элементов (мкг/дм³) в воде р. Аргунь и её притоков
The content of toxic elements (µg/dm³) in the water of the Argun river and its tributaries

| № | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | As | Sr | Mo | Cd | Hg | Pb |
|----------------------------|--------|------|-------|-------|-------|--------|------|--------|------|------|-------|-------|
| 2 | ND | 374 | 0,36 | 0,39 | 0,97 | 7,85 | 4,00 | 163,42 | 1,09 | 0,15 | 0,013 | 0,78 |
| 3 | 40,50 | 551 | 0,19 | 0,01 | 2,96 | 17,11 | 4,40 | 172,84 | 1,10 | 0,27 | 0,012 | 0,23 |
| 5 | 192,84 | 307 | 0,19 | ND | 0,76 | 17,20 | 3,90 | 206,98 | 0,93 | 0,01 | 0,014 | 0,32 |
| 6 | 34,00 | 321 | 0,20 | ND | ND | ND | 2,67 | 173,56 | 0,79 | 0,03 | 0,011 | ND |
| 8 | 20,34 | 319 | 0,20 | 0,56 | ND | 2,55 | 6,81 | 739,44 | 1,67 | 0,03 | 0,010 | ND |
| 9 | 31,26 | 293 | 0,18 | ND | 1,33 | 9,50 | 0,51 | 99,48 | 0,78 | 0,01 | 0,005 | 3,38 |
| 10 | 170,99 | 4994 | 3,66 | 15,65 | 65,81 | 101,72 | 7,28 | 331,62 | 3,36 | 0,25 | 0,019 | 13,07 |
| 12 | 44,72 | 346 | 0,16 | 0,26 | 5,96 | 17,79 | 0,98 | 239,45 | 0,55 | 0,07 | 0,010 | 0,10 |
| 13 | 52,33 | 282 | 0,16 | 0,37 | ND | ND | 1,51 | 241,04 | 0,85 | 0,02 | 0,011 | ND |
| 14 | 434,64 | 202 | 0,17 | ND | 0,39 | 5,68 | 2,75 | 263,93 | 2,97 | 0,01 | 0,004 | ND |
| ПДК _{рх} / МАС | 10,00 | 100 | 10,00 | 10,00 | 1,00 | 10,00 | 5,00 | 400,00 | 1,00 | 5,00 | 0,01 | 6,00 |
| ССС | – | 1000 | – | 52,00 | 9,00 | 120,00 | 150 | – | – | 0,25 | 0,77 | 2,5 |

Примечание: «–» нет данных; ND – ниже порога определения метода; ПДК_{рх} [6]; СССР [11].
Note: “–” no data; ND – is below the detection threshold of the method; МАС [6]; СССР [11].

принимается средняя величина с учётом трёх стандартных отклонений [7].

Результаты и обсуждение

Регулярные наблюдения за гидрохимическим состоянием р. Аргунь осуществляются подразделениями Забайкальского управления государственной метеорологической службы (ЗабУГМС), на водных объектах бассейна р. Аргунь мониторинг не проводится. Крупные водопользователи результаты наблюдений не предоставляют в единую базу данных и доступ к ним затруднён.

Минерализация воды р. Аргунь с 2000 по 2010 гг. по данным ЗабУГМС [8] изменялась от 165 до 424 мг/дм³ с минимумом (111–283 мг/дм³) в весеннее и осеннее половодье (апрель-июнь, август-сентябрь). В подлédный период минерализация достигает в отдельных случаях 950 мг/дм³ (февраль 2003 г., станция 3). В водотоках бассейна р. Аргунь по данным за июль 2013 г. минерализация воды варьирует от 30 мг/дм³ (р. Средняя Борзя, ст. 9) до 555 мг/дм³ (р. Урулюнгуй, ст. 7) (табл. 1). Величина рН изменялась от 7,2 до 8,0, содержание O₂ – от 5,7 мг/дм³ (пр. Мутная) до 10,3 мг/дм³ (р. Серебрянка), процент насыщения O₂ – от 71 до 110%, что соответствует ПДК_{рх}. Отношение P_{мин}/P_{общ} в воде р. Аргунь составило в среднем 0,31, что показывает на преобладание в воде P_{орг}. Низкая концентрация P_{мин} в воде может быть обусловлена присутствием Fe, которое осаждает P_{мин} в виде нерастворимых

соединений [9]. По нашим данным (табл. 2), количество Fe_{общ} в воде р. Аргунь высокое, превышающее в 3–6 раз ПДК_{рх} (станции 2–6). Веществами, среднегодовая концентрация которых в воде р. Аргунь превышает ПДК_{рх}, являются трудноокисляемые (ХПК) и легкоокисляемые (БПК₅) органические вещества, Fe_{общ}, Cu (1,6–2,9 ПДК_{рх}), Mn (1,2–22,8 раз), нефтепродукты (1,5–4,7 раз). В среднем течении реки наибольшее влияние на качество вод оказывают ТЭ (Fe_{общ}, Zn, Mn, Cu).

Река Средняя Борзя ниже участков промывки золота (ст. 10) не соответствует ПДК_{рх} по Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg, Pb, выше участка – только по Cu и Mn. Известно [10], что большая часть ТЭ транспортируется на суспендированных твёрдых частицах, а часть – в растворённом виде. Так, на участке от верхнего до нижнего течения р. Средняя Борзя, мутность воды возросла в 111 раз, концентрация Cu – в 50, Cd – в 25, Co – в 20, Fe – в 17, As – в 14, Zn – в 10, Pb – в 4 раза, что привело к превышению ПДК_{рх} по ряду элементов (рис. 3а).

Для оценки биологического накопления ТЭ нами рассмотрены макроводоросли, являющиеся обычными обитателями водотоков и водоёмов бассейна [12]. Данные о содержании токсичных элементов в водорослях бассейна р. Аргунь приводятся впервые (табл. 3). В целом, полученные данные укладываются в известные для пресноводных экосистем пределы содержания элементов [3].

Сопоставление полученных нами результатов с ПДК_{рх} (рис., а) показало превышение значений по Mn и Fe во всех исследованных водотоках, что является природным фоном для вод бассейна р. Аргунь. Отчасти это справедливо и для Cu, Zn, As и Pb, концентрация которых на отдельных участках рек также находится в диапазоне одного или двух ПДК_{рх}. Проведение промывки золота без соблюдения нормативов приводит к существенному загрязнению водной среды, в том числе и ТЭ [13].

На основании результатов, полученных ранее, нами рассчитаны средние содержания ТЭ в водорослях Забайкальского края [14]. Эти расчётные данные принимаются нами как фоновые. Наиболее представительные данные получены для макрофитной водоросли *Cladophora fracta* из р. Аргунь. Число элементов, превышающих фон, невелико, а превышения незначительны (рис., б). Так, концентрация молибдена превышает фоновую в 2,5–3,0 раза. На участке реки Молоканка-Приаргунск регистрируется содержание Hg, в 1,7 раза превышающее фон. Содержание ТЭ в *C. fracta* в водных объектах бассейна р. Аргунь по ряду элементов значительно отличается от фоновых для Забайкальского края. Наибольшие отличия зарегистрированы в пробах водорослей из резервного водо-

хранилища г. Краснокаменска (Zn, As, Ni), в р. Средняя Борзя на ст. 10 (Mo, Cd, Pb), в р. Калга на ст. 15 (Mn, Co, Mo) (рис., б). Сравнение результатов содержания в воде с ПДК_{рх} в воде и фоном показало для большинства станций список элементов, превышающих средний фоновый уровень концентрации в *C. fracta* шире, чем список элементов при оценке содержания ПДК_{рх}. В то же время превышения фоновых значений незначительны и обусловлены геохимической обстановкой территории. Так как концентрация ТЭ в водорослях не меняется в течение продолжительного времени, то они оказываются информативными для оценки загрязнения воды.

Заключение

Авторами проведена оценка пространственных изменений минерализации и содержания 12 токсичных элементов в воде и макроскопических водорослях. Минерализация воды р. Аргунь за десятилетний период изменялась от 165 до 424 мг/л, с минимумом в весеннее и осеннее половодье, максимумом – зимой. Было обнаружено, что в реках бассейна среди тяжёлых металлов преобладают Fe и Mn. Река Средняя Борзя ниже участков

Таблица 3 / Table 3

Содержание токсичных элементов в макроводорослях бассейна р. Аргунь (мкг/г сухого веса, Mn и Fe в мг/г) / The content of toxic elements in the macroalgae of the Argun River basin (µg/g, dry weight, Mn and Fe in mg/g)

| № | Таксон / Taxon | Mn | Fe | Co | Ni | Cu | Zn | As | Sr | Mo | Cd | Hg | Pb |
|----|----------------------------------|------|-----|------|-----|------|-------|------|-------|-----|-----|-------|------|
| 1 | <i>Cladophora fracta</i> | 0,3 | 1,2 | 0,5 | 2,6 | 2,0 | 24,9 | 3,5 | 93,7 | 2,6 | 0,7 | 0,009 | 2,8 |
| | <i>Spirogyra</i> sp ₁ | 3,9 | 0,8 | 2,3 | 2,4 | 6,9 | 247,3 | 7,3 | 64,0 | 1,2 | 1,4 | 0,025 | 3,3 |
| 3 | <i>C. fracta</i> | 0,4 | 1,5 | 0,5 | 3,4 | 2,8 | 13,7 | 4,3 | 78,9 | 2,3 | 0,2 | 0,008 | 1,5 |
| | <i>Spirogyra</i> sp ₁ | 14,9 | 0,3 | 17,1 | 2,9 | 7,4 | 97,4 | 4,4 | 72,0 | 0,8 | 0,4 | 0,005 | 1,7 |
| | <i>Spirogyra</i> sp ₂ | 2,0 | 0,9 | 2,4 | 2,0 | 4,5 | 65,8 | 7,5 | 45,1 | 0,6 | 0,3 | 0,019 | 3,2 |
| | <i>Hydrodictyon reticulatum</i> | 0,7 | 0,9 | 1,7 | 3,3 | 9,0 | 66,2 | 10,4 | 43,7 | 0,4 | 0,4 | 0,004 | 2,6 |
| 4 | <i>C. fracta</i> | 0,4 | 1,4 | 0,9 | 3,7 | 26,5 | 26,3 | 6,3 | 100,8 | 2,0 | 0,3 | 0,002 | 3,4 |
| 5 | <i>C. fracta</i> | 0,2 | 1,3 | 0,3 | 2,9 | 5,5 | 20,9 | 1,9 | 291,8 | 2,7 | 0,2 | 0,006 | 4,3 |
| 6 | <i>C. fracta</i> | 1,9 | 2,1 | 3,3 | 4,2 | 13,5 | 41,9 | 2,7 | 123,8 | 2,3 | 0,3 | ND | 2,4 |
| 7 | <i>C. fracta</i> | 0,8 | 4,7 | 3,3 | 4,5 | 2,3 | 71,7 | 29,5 | 334,3 | 0,8 | 0,5 | 0,002 | 4,4 |
| | <i>Spirogyra</i> sp ₁ | 0,2 | 0,5 | 11,9 | 8 | 6,7 | 281,4 | 18,8 | 160,9 | 0,6 | 0,7 | 0,003 | 1,3 |
| 8 | <i>C. fracta</i> | 1,5 | 2,5 | 1,1 | 4,7 | 3,9 | 43,7 | 8,1 | 225,4 | 0,3 | 0,2 | 0,001 | 3,2 |
| | <i>Spirogyra</i> sp ₁ | 2,7 | 0,8 | 2,3 | 4,8 | 6,7 | 256,5 | 4,8 | 196,0 | 0,9 | 0,3 | 0,003 | 2,4 |
| 10 | <i>C. fracta</i> | 1,3 | 2,5 | 2,2 | 5,5 | 13,3 | 47,0 | 8,8 | 212,6 | 5,4 | 1,0 | 0,005 | 13,3 |
| 11 | <i>C. fracta</i> | 0,4 | 2,7 | 0,6 | 3,3 | 4,6 | 22,1 | 6,0 | 122,3 | 0,5 | 0,1 | ND | 2,1 |
| 14 | <i>C. fracta</i> | 1,5 | 1,4 | 2,0 | 5,1 | 3,8 | 20,5 | 21,7 | 272,5 | 1,1 | 0,2 | 0,010 | 4,3 |
| 15 | <i>C. fracta</i> | 8,6 | 4,0 | 8,2 | 4,7 | 19,6 | 55,2 | 11,7 | 197,0 | 5,2 | 0,3 | 0,005 | 5,5 |

Примечание: ND – ниже порога определения метода.
Note: ND – is below the detection threshold of the method.

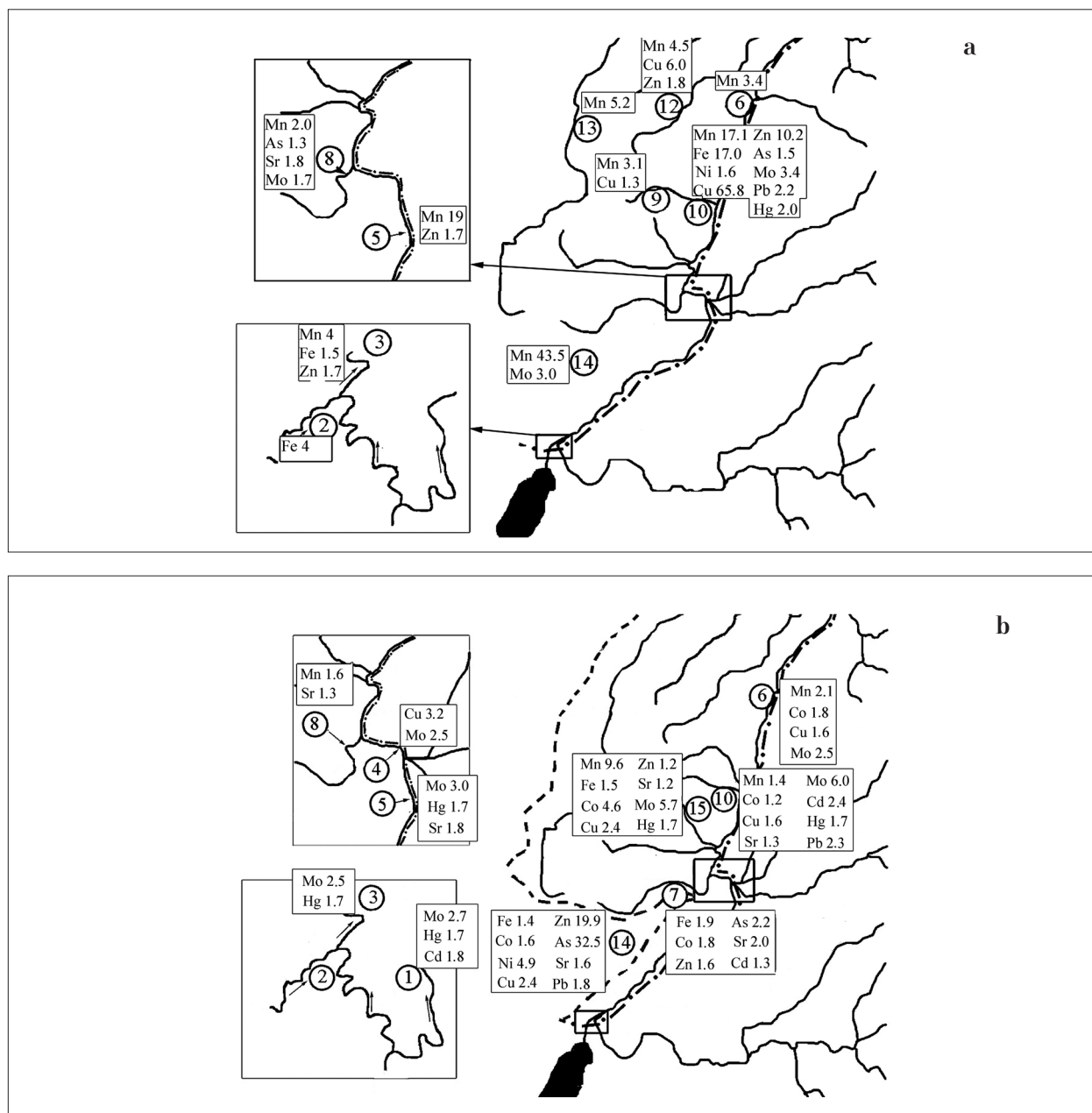


Рис. Оценка загрязнённости водной среды (N раз) в бассейне р. Аргунь:
 а – по нормативу ПДК_{рх}, б – фон в *C. fracta*.
 Fig. Assessment of water pollution (N times) in the basin of the Argun River:
 а – MAC [9], б – background in *C. fracta*

промывки золота является самой загрязнённой токсичными элементами рекой в бассейне р. Аргунь. Здесь превышение в воде по ПДК_{рх} определены для Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg и Pb. Самые высокие концентрации токсичных элементов в *C. fracta* выявлены в резервном водохранилище г. Краснокаменска, куда в зимнее время производится закачка воды из р. Аргунь. Для большинства станций выявлено превышение числа тяжёлых элементов в *C. fracta* из бассейна р. Аргунь относительно средних фоновых концентраций в водоёмах

Забайкальского края над числом металлов в воде, превышающих ПДК_{рх}.

Работа выполнена по программе ФНИ (проект IX.137.1).

Литература

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Приаргунская. Лист М-50-ХП (Нерчинский Завод). Санкт-Петербург: Изд-во СПб картографической фабрики ВСЕГЕИ, 2001.

2. Wang X., Duan M., Ren Y., Hou Z., Sun D., Hao Y. Characteristics of fluid inclusions and mineralization age of badaguan Cu-Mo deposit in Erguna area, Inner Mongolia // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2016. V. 46. No. 5. P. 1354–1367.

3. Никаноров А.М., Жулидов А.В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 312 с.

4. Jiang M., Zeng G., Zhang Ch., Ma X., Chen M., Zhang J., Lu L., Yu Q., Hu L., Liu L. Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District // *PLoS One*. 2013. V. 8. P. e71176.

5. Kuklin A.P., Matafonov P.V. Background concentrations of heavy metals in benthos from transboundary rivers of the Transbaikalia region, Russia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2014. V. 92. P. 137–142.

6. ГОСТ 27065-86. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 [Электронный ресурс] <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/> (Дата обращения: 11.03.2015).

7. Алексеенко В.А., Суворинов А.В., Головинский П.Л., Санникова А.Б., Череп Е.И. Эколого-геохимические исследования. Краснодар: Изд. КубГТУ, 2003. 170 с.

8. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективность проведенных водоохраных мероприятий на территории Забайкалгидромета. Чита, 2011. 182 с.

9. Schwertmann U., Carlson L., Fetcher H. Iron oxide formation in artificial ground waters // *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. 1984. V. 46. Issue 2. P. 185–191.

10. Fan Q., He J., Xue H., Lü Ch., Sun Y., Shen L., Liang Y., Bai S. Heavy metal pollution in the Baotou section of the Yellow River, China // *Chemical Speciation and Bioavailability*. 2008. V. 20. No. 2. P. 65–76.

11. U.S. EPA National recommended water quality criteria, US Environmental Protection Agency [Электронный ресурс] <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm> (Дата обращения: 20.03.2017).

12. Куклин А.П. Макрофитные водоросли бассейна реки Аргунь // *Аргунские просторы*. Чита: Экспресс-Издательство, 2009. С. 113–119.

13. Fashola M.O., Ngole-Jeme V.M., Babalola O.O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016. V. 13. No. 11. P. 1047–1067.

14. Kuklin A.P., Pomazkova N.V. Fresh-water macroalgae in monitoring of water pollution by toxic metals in near-border territories // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2017. V. 3. P. 812–820.

References

1. State geological map of the Russian Federation. Series Priargunskaya. Sheet M-50-XII (Nerchinskiy

Zavod). Sankt-Petersburg: VSEGEI, 2001 (in Russian).

2. Wang X., Duan M., Ren Y., Hou Z., Sun D., Hao Y. Characteristics of fluid inclusions and mineralization age of badaguan Cu-Mo deposit in Erguna area, Inner Mongolia // *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*. 2016. V. 46. No. 5. P. 1354–1367. doi: 10.13278/j.cnki.jjuese.201605108.

3. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V. Biomonitoring of metals in freshwater ecosystems. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991. 311 p. (in Russian).

4. Jiang M., Zeng G., Zhang Ch., Ma X., Chen M., Zhang J., Lu L., Yu Q., Hu L., Liu L. Assessment of heavy metal contamination in the surrounding soils and surface sediments in Xiawangang River, Qingshuitang District // *PLoS One*. 2013. V. 8. P. e71176. doi: 10.1371/journal.pone.0071176.

5. Kuklin A.P., Matafonov P.V. Background concentrations of heavy metals in benthos from transboundary rivers of the Transbaikalia region, Russia // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2014. V. 92. P. 137–142. doi: 10.1007/s00128-013-1179-0.

6. ГОСТ 27065-86. Standards of water quality of water bodies of fishery significance, including maximum permissible concentrations of harmful substances in waters of water objects of commercial fishing importance. Federalnoye agentstvje po rybolovstvu. Prikaz ot 18.01.2010. No. 20 [Internet resource] <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/> (Accessed: 11.03.2015) (in Russian).

7. Alekseyenko V.A., Suvorinov A.V., Golovinskiy P.L., Sannikova A.B., Cherep E.I. Ecological and geochemical research. Krasnodar: Izdatelstvo KubGTU, 2003. 170 p. (in Russian).

8. Yearbook of the quality of surface waters and the effectiveness of water protection measures in the territory of Zabaikalgidromet. Chita, 2011. 182 p. (in Russian).

9. Schwertmann U., Carlson L., Fetcher H. Iron oxide formation in artificial ground waters // *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie*. 1984. V. 46. P. 185–191.

10. Fan Q., He J., Xue H., Lü Ch., Sun Y., Shen L., Liang Y., Bai S. Heavy metal pollution in the Baotou section of the Yellow River, China // *Chemical Speciation and Bioavailability*. 2008. V. 20. No. 2. P. 65–76. doi: 10.3184/095422908X322824.

11. U.S. EPA. National recommended water quality criteria, US Environmental Protection Agency [Internet resource] <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/index.cfm> (Accessed: 20.03.2017).

12. Kuklin A.P. Macrophytic algae of the Argun River basin // *Argunskiye prostory*. Chita: Ekspress-Izdatelstvo, 2009. P. 113–119 (in Russian).

13. Fashola M.O., Ngole-Jeme V.M., Babalola O.O. Heavy metal pollution from gold mines: environmental effects and bacterial strategies for resistance // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2016. V. 13. No. 11. P. 1047–1067. doi: 10.3390/ijerph13111047.

14. Kuklin A.P., Pomazkova N.V. Fresh-water macroalgae in monitoring of water pollution by toxic metals in near-border territories // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2017. V. 3. P. 812–820.