

УДК 556.5

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В  
ПОВЕРХНОСТНОМ И ПРИДОННОМ СЛОЯХ ВОД ОБСКОЙ ГУБЫ**

***Е.В. ЧЕРНОИВАНОВА***

*Тюменский государственный университет  
(Тюмень, Россия)*

*[chiernoivanova2013@mail.ru](mailto:chiernoivanova2013@mail.ru)*

*Научный руководитель д.х.н. Т.А. Кремлева*

Активное освоение арктических регионов связано с богатым ресурсным потенциалом Севера и Арктики. Арктические воды представляют большой интерес для геохимических исследований. Их особенностью является высокая экологическая уязвимость, ограниченная способность к самоочищению (Моисеенко 1996, 2006; Яблоков, 1996). Данная работа посвящена изучению рас-

пределения некоторых микроэлементов (Cd, Pd, Cr, Zn, Ni, Mn, Bi, Al, Cu, As, Sb) между придонным и поверхностным слоем вод в Обской губе. Обская губа — уникальная экологическая система, это крупнейшее место обитания сиговых пород рыб, испытывающая значительное антропогенное воздействие. Работа выполнена в рамках сотрудничества Тюменского государственного университета с научным центром изучения Арктики (г. Надым).

В работе проведено определение ионного состава, интегральных характеристик водной среды, содержания тяжёлых металлов и металлоидов в 19 пробах поверхностной и придонной воды Обской губы. Проведена оценка уровня загрязнения поверхностных вод тяжёлыми металлами и анализ закономерностей распределения микроэлементов в поверхностных и придонных слоях вод Обской губы. Пробы отобраны в Обской губе в период ледостава с 7 по 9 апреля 2016 года. Координаты мест отбора проб: от 66,8 северной широты 72,3 восточной долготы до 68,5 северной широты 73,8 восточной долготы. Пробы воды отбирались в полиэтиленовые бутылки емкостью 0.5 дм<sup>3</sup>.

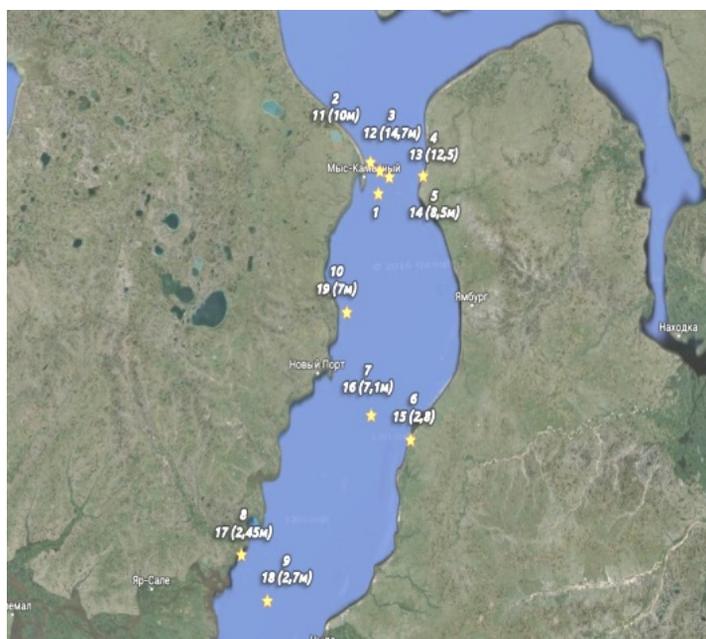


Рис. 1. Места отбора проб вод Обской губы, в скобках указана глубина отбора проб

Методы анализа:

- катионный состав определен методом капиллярного электрофореза с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105М», анионный состав – методом ионообменной хроматографии с использованием ионного хроматографа «Dionex ICS 2100»;
- рН — прямая потенциометрия со стеклянным электродом;
- удельная электропроводность — кондуктометрическим методом
- цветность воды — спектрофотометрическим методом,  $\lambda = 380\text{nm}$ ;

- общий углерод ( $C_{\text{общ}}$ ), органический углерод ( $C_{\text{орг}}$ ), неорганический углерод ( $C_{\text{мин}}$ ) — элементный анализ с использованием прибора vario TOC, Elementar;

- содержание общего железа — методом спектрофотометрии, с сульфосалициловой кислотой;

- содержание тяжелых металлов — методом атомно-абсорбционной спектрометрии с электротермической атомизацией (спектрофотометр ContrAA-700, AnalyticJena).

Ионный состав вод является одной из важнейших характеристик водной среды, он формируется, в основном, под воздействием природных факторов. По результатам определения катионный состав можно охарактеризовать следующим образом: концентрация ионов кальция находится в диапазоне от 17,1 до 38,2 мг/дм<sup>3</sup>, магния — от 4,73 до 9,40 мг/дм<sup>3</sup>, натрия — от 5,79 до 11,31 мг/дм<sup>3</sup>, калия — от 0,92 до 1,45 мг/дм<sup>3</sup>. Анионный состав: содержание гидрокарбонат-ионов варьирует от 7,57 до 24,3 мг/дм<sup>3</sup>, сульфат-ионов — от 4,37 до 9,80 мг/дм<sup>3</sup>, хлорид-ионов — от 4,08 до 7,80 мг/дм<sup>3</sup>, нитрат-ионов — от 0,33 до 2,88 мг/дм<sup>3</sup>. Исследуемые воды относятся гидрокарбонатному классу вод группы кальция, что характерно для рек Западной Сибири (Гидрометеоиздат, 1972; Винокуров, 2010). Значения величин общей минерализации соответствуют слабо минерализованным ультрапресным водам. Содержание главных ионов в придонных и поверхностных пробах, отобранных в одной точке близки, разница находится в пределах погрешности измерения.

Исследуемые воды имеют значение рН близкое к нейтральному (от 6,7 до 7,0). Кислотность примерно одинакова для всех проб и не зависит от глубины отбора. Значение электропроводности вод изменяется в диапазоне от 140-260 мкСм/см, практически не зависит от глубины отбора проб, но уменьшается в направлении с севера на юг. Уменьшение общей минерализации в этом направлении, по-видимому, обусловлено характером грунтов, выщелачиванием из них основных ионов. Цветность исследуемых вод варьирует в интервале от 30 до 120°Цв (Cr-Co шкалы), повышается в направлении с юга на север (по течению реки), что может быть обусловлено увеличением поступления высокогумусных болотных вод на этой территории. Так же меняется и содержание органических форм углерода, наблюдается высокая степень корреляции между содержанием  $C_{\text{орг}}$  и цветностью ( $R^2=0,88$ ). Содержание минеральных форм углерода незначительно уменьшается по течению реки, что связано с общим увеличением объема воды.

Для поверхностных вод северных территорий Западной Сибири характерно повышенное содержание железа. Это связано с высокой степенью заболоченности территорий, повышением миграции железа в составе высокогумусных болотных вод (Нечаева, 2004). По результатам данной работы концентрация Fe варьирует от 0,5 до 1,5 мг/дм<sup>3</sup>. Во всех исследуемых пробах зафиксировано превышение ПДК<sub>рбх</sub> (кратность превышения варьирует от 5 до 15 раз). Явного влияния глубины отбора проб на содержание общего железа в них не обнаружено. В литературе имеются данные об уменьшении содержания железа в Обской губе с юга на север (Винокуров, 2010). Для исследован-

ного в данной работе участка Обской губы эта тенденция еще не проявляется, и здесь подобных закономерностей не выявлено.

Характеристика микроэлементного состава вод. По результатам определения микроэлементов (Cd, Pd, Cr, Zn, Ni, Mn, Bi, Al, Cu, As, Sb) получены следующие результаты:

- концентрация марганца варьирует от 1,00 до 2,88 мкг/дм<sup>3</sup>, цинка — от 1,85 до 11,3 мкг/дм<sup>3</sup>. Значение ПДК<sub>рбх</sub> не превышено;
- содержание алюминия варьирует в интервале от 20 до 110 мкг/дм<sup>3</sup>. Практически во всех пробах наблюдается превышение ПДК<sub>рбх</sub> в 1,5-2 раза;
- концентрация меди находится в диапазоне от 1,14 до 11,8 мкг/дм<sup>3</sup>, во всех пробах наблюдается превышение ПДК<sub>рбх</sub> (1 мкг/дм<sup>3</sup>);
- содержание свинца во всех пробах менее 1 мкг/дм<sup>3</sup>, кадмия — менее 0,1 мкг/дм<sup>3</sup>. Никель обнаружен лишь в части проб, концентрация его от 1,01 мкг/дм<sup>3</sup> до 3,48 мкг/дм<sup>3</sup>. Хром также обнаружен в некоторых пробах, концентрация от 1,0 до 3,5 мкг/дм<sup>3</sup>. В большинстве проб концентрация никеля и хрома не превышала 1 мкг/дм<sup>3</sup>.

Проведен анализ элементов подгруппы мышьяка (As, Sb, Bi) методом ААС с атомизацией гидридов. Концентрация мышьяка значительно ниже ПДК<sub>рбх</sub> и варьирует от 0,5 до 1,5 мкг/л дм<sup>3</sup>. Влияния глубины отбора проб и широты не выявлено. Висмут и сурьма в исследуемых пробах воды не обнаружены, все полученные значения концентрации висмута меньше 1 мкг/дм<sup>3</sup>, сурьмы — меньше 5 мкг/дм<sup>3</sup>, что ниже ПДК<sub>рбх</sub> этих металлов.

Для анализа распределения микроэлементов в Обской губе в направлении с юга на север (вниз по течению реки) рассмотрено распределение металлов в широтном градиенте. Соответствующие данные приведены на рис. 2. Содержание металлов сильно различается по абсолютным значениям, поэтому данные приведены на разных рисунках.

Анализ полученных данных позволяет условно разделить микроэлементы на две группы — в первой группе наблюдается заметное увеличение концентрации к северной части реки, во второй — содержание примерно одинаково на всех участках. В первую группу можно отнести алюминий, цинк и медь, во вторую — железо и марганец. Объяснить такие результаты можно влиянием органического вещества, содержание которого увеличивается в этом же направлении. Из литературных данных известно, что ионы металлов в природных водах могут существовать в свободной или связанной форме (Папина Т.С., 2005.). Основную роль в связывании ионов металлов в прочные комплексы играет растворенное органическое вещество (РОВ). На основании полученных данных можно сделать предположение о преимущественном связывании в комплекс с РОВ ионов алюминия, меди, цинка. Содержание этих металлов лучше всего коррелирует с содержанием  $C_{орг}$ . Для железа определено общее содержание, включающие не только растворенные, но и коллоидные формы, видимо, поэтому взаимосвязь его содержания с органическим веществом не проявляется. Нахождение токсичных металлов ( $Al^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) в виде комплексов с гумусовыми веществами значительно снижает их биодоступность и, как следствие, токсичность.

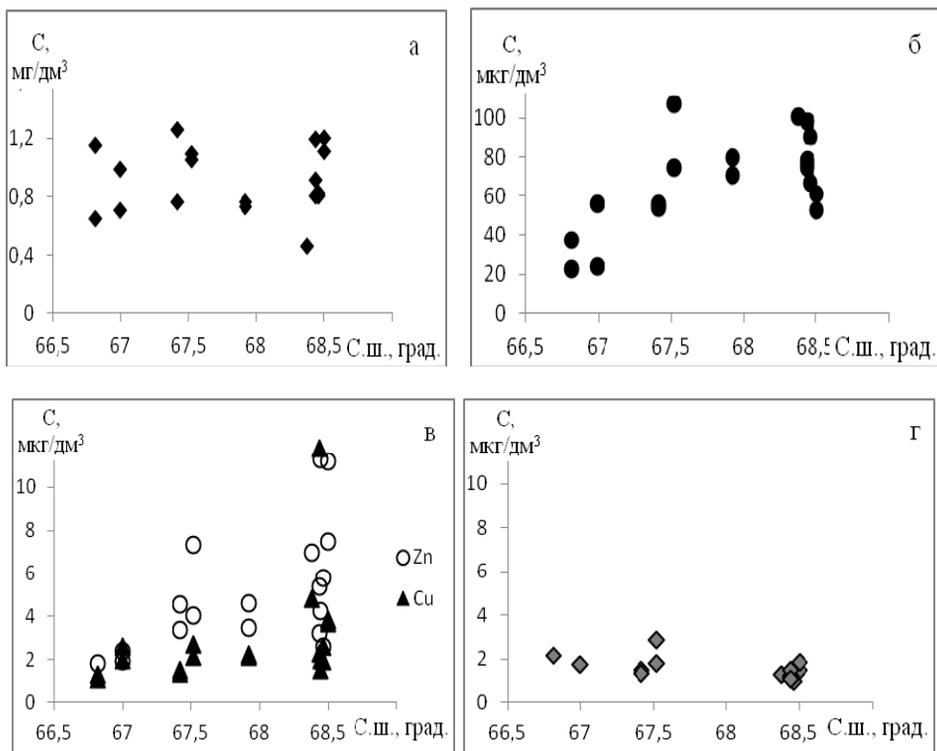


Рис. 2. Содержание металлов широтном градиенте: а — железо, мг/дм<sup>3</sup>; б — алюминий, мкг/дм<sup>3</sup>; в — цинк и медь, мкг/дм<sup>3</sup>; г — марганец, мкг/дм<sup>3</sup>

**Закключение.** Отобранные для анализа пробы воды из Обской губы относятся к гидрокарбонатному классу вод группы кальция, что характерно для рек Западной Сибири в целом. Исследуемые воды являются слабо минерализованными, ультрапресными, нейтральными (рН варьирует в диапазоне 6,68-7,03). Значение рН и удельной электропроводности практически одинаковы для проб, отобранных с поверхности и придонных. Удельная электропроводность на обследованном участке Обской губы снижается в направлении с юга на север, по течению реки. Цветность вод варьирует в интервале от 31 до 118°Сг-Со, повышается в направлении с юга на север, что может быть обусловлено увеличением поступления высокогумусных болотных вод на этой территории. Между цветностью и содержанием органических форм углерода имеется достоверная корреляция ( $R^2=0,88$ ).

По результатам определения содержания металлов (Cd, Pd, Cr, Zn, Ni, Mn, Bi, Al, As, Sb) выявлено превышение ПДК по железу (во всех пробах, кратность превышения ПДК порядка 10 единиц), меди (во всех пробах, кратность превышения ПДК порядка 5 единиц) и алюминию (в большинстве проб, кратность превышения ПДК порядка 2 единицы). Содержание остальных металлов ПДК<sub>рбх</sub> не превышает. Концентрация мышьяка варьирует от 0,4 до 1,7 мкг/дм<sup>3</sup>, что значительно ниже ПДК<sub>рбх</sub>. Влияния глубины отбора проб на содержание всех микроэлементов не выявлено. Висмут и сурьма в исследуе-

мых пробах воды не обнаружены, все полученные значения концентрации висмута металла меньше  $1 \text{ мкг/дм}^3$ , сурьмы — меньше  $10 \text{ мкг/дм}^3$ .

На основе анализа данных по распределению металлов (Fe, Al, Mn, Cu, Zn) и растворенного органического вещества в широтном градиенте выявлено, что микроэлементы можно разделить на две группы — в первой группе наблюдается заметное увеличение концентрации к северной части реки, во второй — содержание примерно одинаково на всех участках. В первую группу можно отнести алюминий, цинк и медь, во вторую — железо и марганец. Объяснить такие результаты можно влиянием органического вещества, содержание которого увеличивается в этом же направлении. Наличие достоверной корреляции между содержанием металлов (алюминий, медь) и растворенного органического вещества позволяет предположить, что ионы этих металлов в воде преимущественно связаны в комплексы. Для ионов других металлов подобной корреляции не наблюдается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винокуров Ю.И. Проблемы формирования и рационального использования водных ресурсов Обь-Иртышского бассейна / Ю.И. Винокуров и др. // XIV Съезд Русского географического общества (11-14 декабря 2010, г. С.-Петербург). Кн. 3. Климат, Мировой океан и воды суши. СПб., 2010. С. 135-138.
2. Моисеенко Т.И., Родюшкин И.В.. Формирование качества поверхностных вод и донных отложений в условиях антропогенных нагрузок на водосборы с арктического бассейна. Апатиты: Изд-во Кольск. науч. центр, 1996. 345с.
3. Моисеенко Т.И. Закисление вод: Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2006. 261 с.
4. Нечаева Е.Г. Природные и техногенные ландшафтно-геохимические преобразования территории среднего Приобья // География и природные ресурсы. 2004. №3. С. 62-71.
5. Папина Т.С. Эколого-аналитическое исследование распределения тяжелых металлов в водных экосистемах бассейна р. Обь: дис. ... д-ра хим. наук. М.: РГБ, 2005. 257 с.
6. Ресурсы поверхностных вод суши: Средняя Обь. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 406 с.
7. Российская Арктика: на пороге катастрофы / под ред. А.В. Яблокова. М.: Центр экологической политики России, 1996. 206 с.