

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-303-305

**ФОРМЫ МИГРАЦИИ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ
В РЕЧНЫХ ВОДАХ БАСЕЙНА РЕКИ ПУР****FORMS OF MIGRATION OF METALS AND METALLOIDS IN THE PUR RIVER BASIN****Поршева С.П., Лычагин М.Ю., Ерина О.Н., Соколов Д.И.**

Porsheva S.P., Lychagin M.Yu., Erina O.N., Sokolov D.I.

e-mail: krishtalsonya@mail.ru

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Аннотация. Бассейн реки Пур расположен на севере Западной Сибири, где сосредоточены основные месторождения нефти и газа. Реки бассейна более 60 лет испытывают антропогенное воздействие, в том числе загрязнение металлами и металлоидами (ММ). Данное исследование направлено на выявление регионального геохимического фона ММ в воде и речной взвеси, а также соотношения форм миграции, в значительной степени характеризующего их подвижность и биодоступность. Показано, что фоновые концентрации большинства ММ в реках бассейна Пура как в растворенных, так и взвешенных формах, близки к среднемировым. Для взвешенных форм Mn, Fe и Sb отмечено превышение среднемировых концентраций в 2,5 – 5 раз, для растворенного Zn – в 7. Анализ соотношения форм миграции показал, что для Ti, Cs, Al, W, V, P, Cr, U и Bi преобладают взвешенные формы (>70%), для Ca, Na, Mg, Sr, Li, Cu и Mo – растворенные. В половодье по сравнению с меженью для большинства элементов наблюдается снижение доли растворенных форм.

Abstract. The Pur River basin is located in the north of Western Siberia, where the main oil and gas fields are concentrated. For more than 60 years, the rivers of the basin have been experiencing anthropogenic impact, including pollution by metals and metalloids (MM). This study is aimed at identifying the regional geochemical background of MM in water and river suspension, as well as the ratio of migration forms, which largely characterizes their mobility and bioavailability. It is shown that the background concentrations of most MMs in the rivers of the Pur River basin, both in dissolved and suspended forms, are close to the world average. For suspended forms of Mn, Fe and Sb, an excess of the world average concentrations by 2.5–5 times was noted, for dissolved Zn - by 7 times. An analysis of the ratio of migration forms showed that for Ti, Cs, Al, W, V, P, Cr, U and Bi, suspended forms predominate (>70%), for Ca, Na, Mg, Sr, Li, Cu, and Mo, dissolved forms. In high water, compared with low water, for most elements, a decrease in the proportion of dissolved forms is observed.

Ключевые слова: металлы, металлоиды, формы миграции, бассейн Пура, загрязнение воды, водная геохимия.

Keywords: metals, metalloids, forms of migration, Pur River basin, water pollution, aquatic geochemistry.

Введение. Север Западной Сибири является одним из крупнейших в России индустриально-развитых регионов, здесь сосредоточены основные месторождения горючих полезных ископаемых – нефти и газа. Реки, относящиеся к бассейну реки Пур, на протяжении более 60 лет испытывают значительное техногенное воздействие, обусловленное функционированием крупнейшего в России Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения. Влияние нефтегазовой промышленности на формирование качества речных вод может носить постоянный характер посредством организованного поступления сточных вод, сезонный (преимущественно в период весеннего половодья и летне-осенних дождей паводков) посредством диффузного загрязнения водных объектов и эпизодический, связанный с возникновением аварийных ситуаций на объектах нефтепромысла. Географическая неоднородность факторов, влияющих на особенности распределения элементов, к которым относятся литология, гидроклиматические и гидрохимические условия, антропогенное воздействие в пределах речных бассейнов, обуславливает широкую изменчивость миграционных форм металлов и металлоидов (ММ).

Цель работы: изучение уровней содержания и форм миграции ТММ в речных водах бассейна р. Пур.

Материалы и методы исследования. Работа основана на результатах экспедиционных исследований, проведенных в разные фазы водного режима – межень (август 2021 и 2022 гг.) и половодье (май 2022 г.) на реке Пур, образующих ее реках – Айваседапур и Пякупур, а также ее притоке – р. Евояхе, протекающей по г. Новый Уренгой. Речная вода отбиралась в пластиковые бутылки объемом 1,5 л, разделение растворенных и взвешенных форм элементов проводилось посредством фильтрования проб на вакуумной установке Millipore через мембранный фильтр ($D_{пор}$ 0,45 мкм). Содержание ТММ в воде и речной взвеси определялось масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами с индуктивно-связанной плазмой (ICP/MS, ICP/AES) в ВНИИ минерального сырья им. Н.М. Федоровского. Река Пур образуется слиянием рек Пякупур и Айваседапур, впадает в Тазовскую губу. Бассейн реки расположен в районе **Тазовско-Пурской синеклизы, покрытой** ледниковыми и морскими отложениями. По классификации Б. Д. Зайкова Пур относится к рекам с весенним половодьем Западно-Сибирского подтипа. Питание снеговое и дождевое, среднегодовой расход воды – 1040 м³/с. В половодье средний показатель рН составляет 5,5 (слабокислый), в межень – 7,3-8,5 (от нейтрального до слабощелочного), мутность невысокая (5-40 мг/л).

Содержание ММ в речных водах. Уровни содержания ММ в речной воде и взвеси (рис. 1а, б) оценивались с помощью расчета коэффициентов концентрации элементов (Кс) относительно среднемировых значений по формуле:

$K_c = C_i / C_{cp.i}$, где $C_{cp.i}$ – среднемировая концентрация i-элемента в растворенной [12] или взвешенной [14] форме; C_i – концентрация i-элемента.

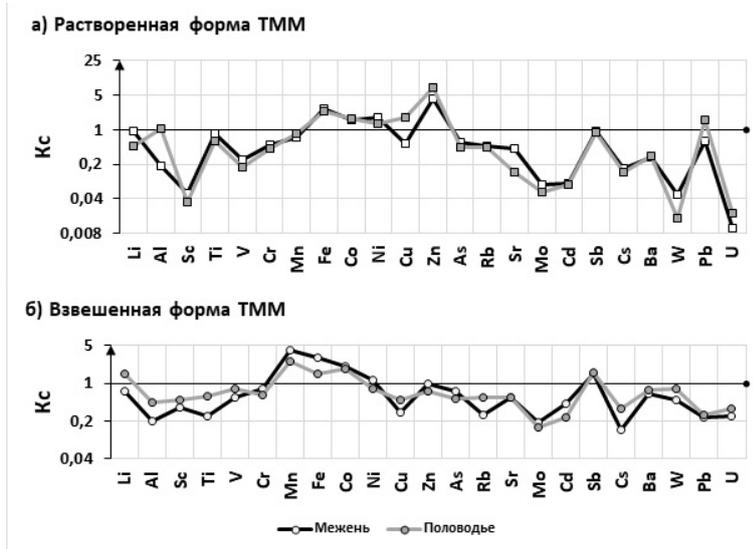


Рис. 1. Коэффициенты концентрации растворенных (а) и взвешенных (б) форм ТММ относительно среднемировых

ства микроэлементов – Li, Ti, Mn, Co, Ni, As, Rb, Sb, Pb – средние концентрации в растворенной форме значимо не отличаются от таковых в мировом речном стоке, что уже отмечалось ранее для рек Российской Арктики [1].

Наибольшее рассеяние отмечено для Mo и Cd (меньше среднемирового в 20-25 раз), особенно – у Sc, W, U (в 25 – 125 раз). В работах [2, 9] указывалось, что для W и Sc можно предположить завышение средней концентрации в мировом речном стоке по (0,10 мкг/л для W и 1,2 мкг/л для Sc [12] по сравнению с 0,03 мкг/л с 0,04 мкг/л соответственно по оценке [13]). Низкое относительное содержание растворенного анионогенного U связано с особенностями регионального геохимического фона, а также с его инертным состоянием в восстановительной среде, характерной для заболоченных водосборов *Надым-Пур-Газовского междуречья*.

Диапазон коэффициентов концентрации взвешенных форм ТММ меньше, чем растворенных. Во взвешенной форме наибольшие относительные концентрации имеют Mn, Fe, Co – катионогенные элементы, подвижные в глеевой обстановке ($K_c = 2,5 - 5$), а также Sb – слабоподвижный анионогенный элемент. Гидрогеохимия сурьмы изучена недостаточно, однако известно, что она хорошо распространена в подземных водах, а также обнаружена в водах районов многолетнемерзлых пород [11]. Наибольшее рассеяние наблюдается для Al, Mo, Cs, Cu, Rb, Cd и Pb (до 5 раз меньше среднемирового).

Химический состав взвеси изменяется по сезонам. Целый ряд элементов (биофильный Mn, сидерофильные элементы – Fe, Co, Ni, Mo, а также халькофильные элементы – Zn, As, Cd) повышает содержания от весны (половодье) к концу лета (межень), тогда как другие (преимущественно литофильные элементы – Li, Al, Sc, Rb, Ti, V, Cs, W, U, а также Cu), напротив, снижают содержания в меженный период. Связано это, в первую очередь, с увеличением количества взвешенного органического вещества в период активного развития фитопланктона, что приводит к росту содержаний элементов, ассоциированных с органикой [2]. Более интенсивные биогеохимические процессы в августе по сравнению с маем приводят к усилению геохимической подвижности металлов в речной взвеси [3].

Соотношение растворенных и взвешенных форм ТММ в речных водах. На рис. 2а и 2б представлено соотношение взвешенных и растворенных форм миграции ТММ в разные фазы водного режима. Мы можем разделить их на несколько групп: 1) Элементы с преобладанием (>70%) взвешенной формы миграции – Ti, Cs, Al, W, V, P, Cr, U – литофильные элементы, а также Bi, Fe; 2) Элементы с преобладанием (>70%) растворенной формы миграции – подвижные макроэлементы Ca, Na, Mg, а также Sr, Li, Cu, Mo; 3) Элементы, мигрирующие как во взвешенной, так и в растворенной форме – As, Be, Ni, Cd, Ba, Sb; 4) Элементы, существенно меняющие форму миграции в зависимости от фазы водного режима – Sn, Sc, Rb.

В межень для большинства элементов наблюдается снижение доли взвешенной формы миграции, что может быть вызвано уменьшением мутности речных вод.

Для Pb, Be, Zn и особенно Mn в межень, наоборот, растет доля взвешенной формы. В случае с биогенным Mn наблюдается направленное снижение содержания растворенных форм в течение вегетационного периода [8]. Возрастание доли Zn во взвеси связана с антропогенным внесением, т. к. Zn как элемент-комплексобразователь мигрирует в воде преимущественно в растворенных комплексных соединениях с органическим веществом [5]. Pb способен прочно адсорбироваться на взвешенных наночастицах, как и Be – литофильный комплексобразователь, мигрирует в водах преимущественно во взвешенной форме [4].

Среднее содержание растворенных форм Fe и Zn выше среднемирового в 2,5 и 7 раз, соответственно. Повышенное содержание Fe обусловлено его значительным поступлением с заболоченных водосборов в составе органических комплексов с гумусовыми веществами и продуктами распада растительности [10]. Для Zn это, вероятно, связано с несколько заниженной среднемировой оценкой его содержания – 0,6 мкг/л [12]. Другие авторы приводят более высокие значения – 0,5-15 мкг/л [6], для рек водосбора Карского моря – 2,36 мкг/л [9]. Кроме того, Zn относится к веществам ближнего переноса, характеризующим локальное загрязнение – от автотранспорта и работы дизельных установок на лицензионных участках месторождений [7].

Для подавляющего большин-

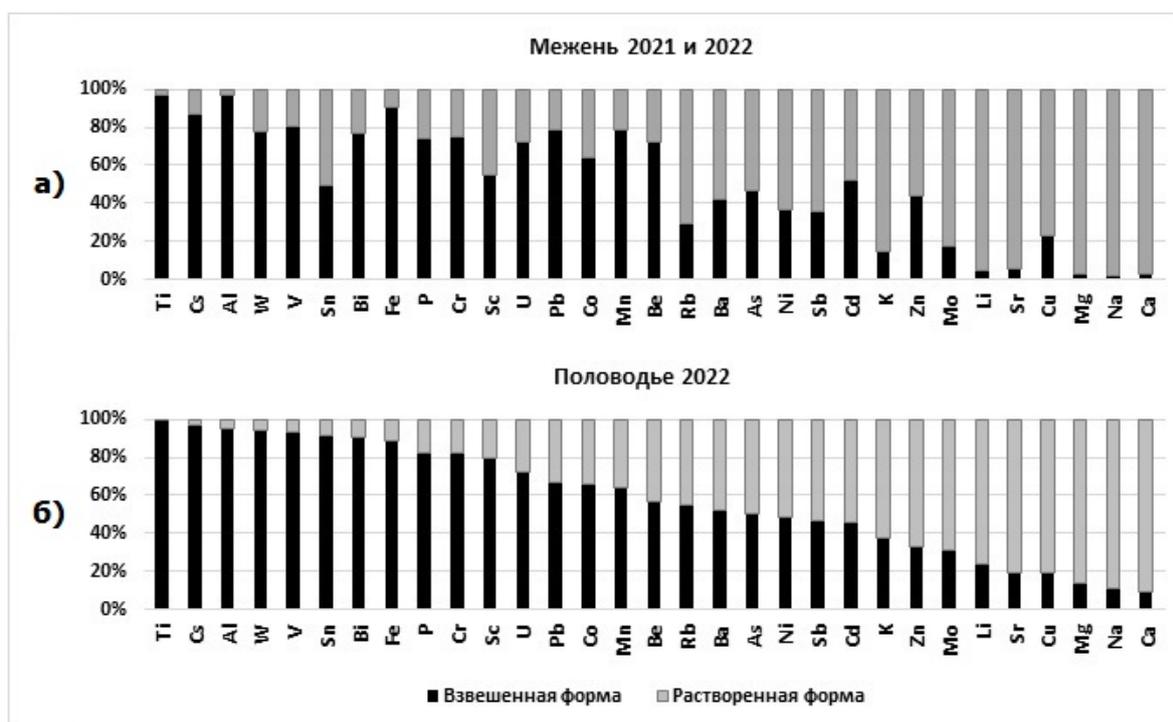


Рис. 2. Соотношение форм миграции ММ в межень (а) и половодье (б)

Выводы. Содержания металлов в речных водах бассейна реки Пур в целом соответствуют среднемировым. Среди растворенных форм выделяется Zn со средней концентрацией, в 7 раз превышающей среднемировую. Соотношение форм миграции различается: для Ti, Cs, Al, W, V, P, Cr, U, Bi преобладает взвешенная форма миграции, для Ca, Na, Mg, Sr, Li, Cu, Mo – растворенная. В межень увеличивается перенос металлов в растворенной форме, в которой они биологически доступны и могут быть опасны.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 22-17-00102 «Эколого-геохимическая индикация влияния нефтегазового комплекса на окружающую среду Арктики: развитие системы анализа источников, полей распределения и потоков загрязняющих веществ».

Литература

1. Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. – М.: ИО РАН, 2019. – 306 с. 222-226
2. Гордеев В. В. и др. Концентрации химических элементов в воде и взвеси реки Северная Двина и их годовой валовый сток в Белое море // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 500. – №. 1. – С. 95-102.
3. Гордеев В.В., Шевченко В.П. Формы нахождения некоторых металлов во взвеси Северной Двины и их сезонные вариации // Океанология. 2012. Т.52. №2. С.282–291
4. Касимов Н. С. и др. Парагенетические ассоциации химических элементов в ландшафтах // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2019. – №. 6. – С. 20-28.
5. Линник П. Н., Жежеря В. А. Цинк в природных поверхностных водах: содержание и формы нахождения // Гидробиологический журнал. – 2017.
6. Мур Д. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния: Пер. с англ. – мир, 1987
7. Опекунов А. Ю. и др. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в ЯНАО // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2012. – №. 4. – С. 87-101.
8. Савенко А. В., Покровский О. С., Кожин М. Н. Трансформация стока растворенных веществ в устьевых областях малых водотоков южного побережья Кольского полуострова // Океанология. – 2011. – Т. 51. – №. 5. – С. 837-848.
9. Савенко А. В., Савенко В. С., Покровский О. С. Новые данные по содержанию растворенных микроэлементов в водах рек Российской Арктики // Доклады российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 491. – №. 2. – С. 82-88.
10. Уварова В. И. Оценка качества воды р. Пур // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. – 2012. – №. 12. – С. 143-149.
11. Filella M., Belzile N., Chen Y. W. Antimony in the environment: a review focused on natural waters: I. Occurrence // Earth-science reviews. – 2002. – Т. 57. – №. 1-2. – С. 125-176.
12. Gaillardet J., Viers J., Dupré B. Trace elements in river waters // Treatise on geochemistry. – 2003. – Т. 5. – С. 605.
13. Martin J.M., Meybeck M. // Biogeochemistry of Estuarine Sediments. Paris: UNESCO, 1978. P. 95–110.
14. Viers J., Dupré B., Gaillardet J. Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: New insights from a new database // Science of the total Environment. – 2009. – Т. 407. – №. 2. – С. 853-868.