

**ФОРМЫ МИГРАЦИИ НИКЕЛЯ И МЕДИ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ РАЙОНА  
ОЗЕРА ИМАНДРА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)**

Т. А. Русинова

Научный руководитель доцент Н.В. Гусева

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия, E-mail: Tanaf93@mail.ru.*

**Аннотация.** В статье описан химический состав различных природных вод в зоне воздействия промышленного предприятия. Приведены неорганические формы миграции никеля и меди в рассматриваемых водах. Выявлены закономерные изменения форм миграции анализируемых элементов в зависимости от минерализации и от параметра pH.

**Abstract.** The various types chemical composition of nature water being changed from industry are analyzed in the article. Migration forms of Ni and Cu are calculated only for inorganic forms. Migration forms considered to depend on mineralization and pH.

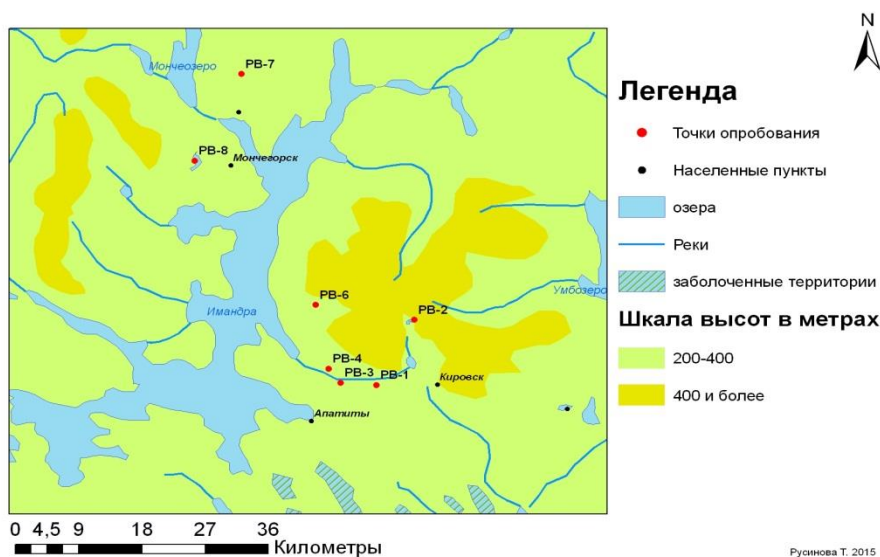
Поведение тяжелых металлов в природных водах - вопрос, требующий пристального внимания, так как они являются экотоксикантами. Данные элементы воздействуют на все компоненты экосферы, имея способность накапливаться в окружающей среде и долгие годы оказывать негативное влияние не только на общий геохимический цикл, но и на все живое в ландшафте [5]. Необходимо отслеживать пути попадания в экосферы и дальнейшую миграцию, а также факторы миграции этих металлов. В данной работе анализируются формы миграции двух тяжелых металлов Ni и Cu в природных водах, так как в исследуемом регионе существует целый комплекс предприятий по добыче и переработке металлосодержащего сырья.

Цель работы - определение неорганических форм миграции никеля и меди в подземных и поверхностных водах района озера Имандра (Кольский полуостров). Объектом исследования являются природные поверхностные и подземные воды, опробованные автором статьи во время полевых маршрутов в рамках летней производственной практики в июле 2014 года (рис.1).

Исследование химического состава вод проводилось в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Научно-образовательного центра «Вода» Института природных ресурсов Томского политехнического университета. Камеральная обработка результатов производилась с помощью программных средств Microsoft Office, ArcGIS. Исследование форм миграции никеля и меди проводилось с использованием возможностей физико-химического моделирования, реализованных в программном продукте HydroGeo (автор М.Б. Букаты) [1].

В модель было включено 19 ионов:  $H^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $In^{3+}$ ,  $OH^-$ ,  $Cl^-$ ,  $(SO_4)^{2-}$ ,  $(NO_3)^-$ ,  $(PO_4)^{3-}$ ,  $Br^-$ ,  $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$  ( $HCO_3^-$ ),  $H_2O$ ,  $SiO_2$ . Для моделирования форм миграции Cu включили 29 ассоциатов:  $(CuHCO_3)^+$ ,  $Cu(HCO_3)_2$ ,  $CuCO_3$ ,  $(Cu(CO_3)_2)^{2-}$ ,  $(CuNO_3)^+$ ,  $Cu(NO_3)_2$ ,  $Cu_3(PO_4)_2$ ,  $(Cu(PO_4)_2)_4$ ,  $(CuPO_4)^-$ ,  $CuHPO_4$ ,  $(Cu(HPO_4)_2)^{2-}$ ,  $(CuH_2PO_4)^+$ ,  $Cu(H_2PO_4)_2$ ,  $CuSO_4$ ,  $(Cu(SO_4)_2)^{2-}$ ,  $CuHSO_4^+$ ,  $Cu(HSO_4)_2$ ,  $(Cu(Cl)_4)^{2-}$ ,  $(Cu(Cl)_3)^-$ ,  $CuCl_2$ ,  $CuCl^+$ ,  $CuF_2$ ,  $CuF^+$ ,  $(Cu(OH)_3)^-$ ,  $(CuO_2)^{2-}$ ,  $CuOOH$ ,  $CuOH^+$ ,  $(Cu(OH)_4)^{2-}$ ,  $Cu(OH)_2$ . Для моделирования форм миграции Ni включили 35 ассоциатов:  $(NiHCO_3)^+$ ,  $Ni(HCO_3)_2$ ,  $NiCO_3$ ,  $(Ni(CO_3)_2)^{2-}$ ,  $(NiNH_3)^{2+}$ ,  $(Ni(NH_3)_2)^{2+}$ ,  $(Ni(NH_3)_6)^{2+}$ ,  $(Ni(NH_3)_5)^{2+}$ ,  $(Ni(NH_3)_4)^{2+}$ ,  $(Ni(NH_3)_3)^{2+}$ ,  $(NiNO_3)^+$ ,  $Ni(NO_3)_2$ ,  $(Ni(PO_4)_2)^{4-}$ ,  $(NiPO_4)^-$ ,  $Ni_3(PO_4)_2$ ,  $Ni(H_2PO_4)_2$ ,  $NiHPO_4$ ,  $(Ni(HPO_4)_2)^{2-}$ ,  $(NiH_2PO_4)^+$ ,  $(NiP_2O_7)^{2-}$ ,  $(NiHP_2O_7)^-$ ,  $NiSO_4$ ,  $(Ni(SO_4)_2)^{2-}$ ,  $(NiHSO_4)^+$ ,

$\text{Ni}(\text{HSO}_4)_2$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{NiCl}^+$ ,  $\text{NiF}^+$ ,  $\text{NiF}_2$ ,  $\text{NiOH}^+$ ,  $(\text{Ni}(\text{OH})_3)^-$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ,  $(\text{Ni}(\text{OH})_4)^{2-}$ ,  $(\text{Ni}_2\text{OH})^{3+}$ ,  $(\text{Ni}_4(\text{OH})_4)^{4+}$ .



**Рис. 1 Карта-схема мест отбора проб**

Рассматриваемые воды от слабокислых до слабощелочных, величина pH изменяется от 5,9 до 7,6 при среднем значении 6,9. Воды ультрапресные, величина минерализации варьирует от 24 мг/л до 201 мг/л при среднем значении 52 мг/л. По химическому типу рассматриваемые воды относятся к гидрокарбонатным натриево-кальциевым. По величине общей жесткости воды относятся к очень мягким, среднее значение жесткости 0,52 мг-э/л, и только одна проба воды характеризуется как мягкая, она имеет жесткость 2,27 мг-э/л, что является типичным для вод рассматриваемого района [2, 5].

В рассматриваемых водах среднее содержание меди составляет 5,97 мкг/л, а содержание никеля - 1,61 мкг/л. Согласно данным [6] среднее содержание рассматриваемых элементов в подземных водах провинции с распространением многолетней мерзлоты составляет 2,21 мкг/л и 1,76 мкг/л соответственно. Таким образом, в рассматриваемых водах содержание меди превышено в 2,7 раза, а содержание никеля практически совпадает с кларковыми значениями.

Среди рассматриваемых комплексных соединений меди преобладающими являются лишь четыре, совокупная доля которых составляет 98,9 %. Такие формы меди как  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{CuCO}_3$  в рассматриваемых водах представлены практически равными долями 49 % и 43 % соответственно. Соединение  $\text{Cu}(\text{HCO}_3)_2^-$  составляет 6 %, а  $\text{Cu}(\text{OH})^-$  - 1 % (рис. 2 а).

По данным [2] Cu в природных водах мигрируют в форме простых ионов, а согласно [3] в водах с подобным химическим составом отмечаются следующие соединения меди (в % от первого иона):  $\text{CuCO}_3$  - 42,5 %,  $\text{Cu}(\text{HCO}_3)_2^-$  - 19,93 %,  $\text{Cu}^{2+}$  - 15,49 %,  $\text{CuCO}_3^{2-}$  - 10,87 %.

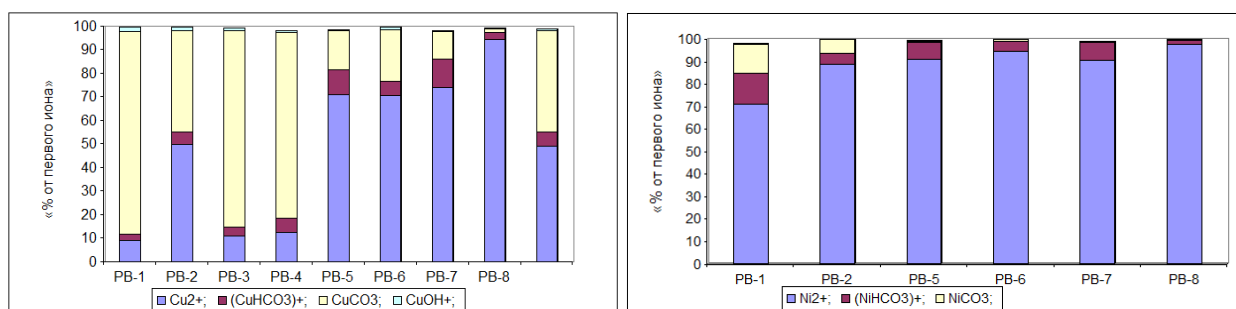


Рис. 2 Основные формы миграции меди (а) и никеля (б)

Кислотно-щелочные условия подземных вод оказывают определяющее значение на миграцию меди. Так с уменьшением величины pH в водах отмечается увеличение доли  $\text{Cu}^{2+}$ . При pH 5,91 доля  $\text{Cu}^{2+}$  составляет 94 %, а при pH 7,43 процентное соотношение доли формы миграции двухвалентного иона снижается до 9 % (рис. 3б).

Минерализация вод также оказывает влияние на миграцию меди. При снижении минерализации рассматриваемых вод доля  $\text{CuCO}_3$  в водах снижается. Так при величине минерализации 201 мг/л (точка PB-4) доля  $\text{CuCO}_3$  составляет 79 %, а при минерализации 29,81 мг/л (точка PB-8) доля  $\text{CuCO}_3$  снижается до 1,5 % (рис.3а).

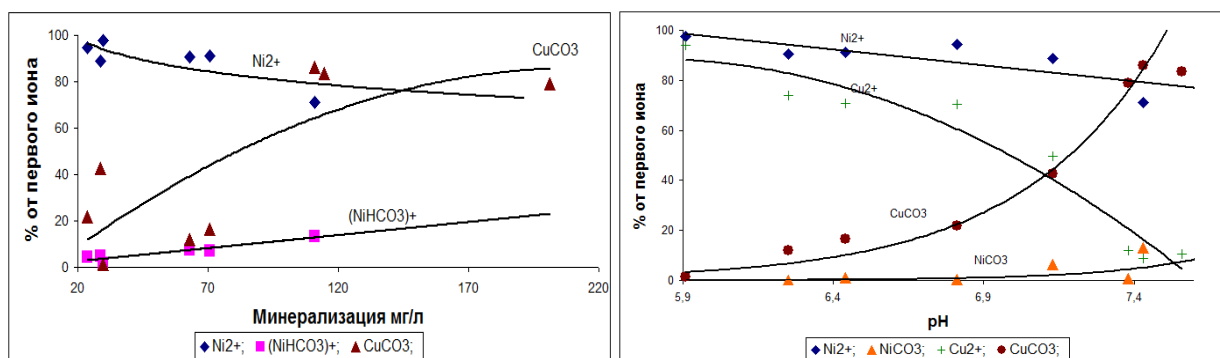


Рис. 3 Зависимость между формами миграции и минерализацией (а) и pH (б)

В рассматриваемых водах преобладающими являются три формы миграции никеля, на долю которых приходится 99,1%. Форма  $\text{Ni}^{2+}$  в водах преобладает, ее доля составляет 89 %. На долю соединений  $(\text{NiHCO}_3)^+$  и  $\text{NiCO}_3$  приходится 6,5 % и 3,6 % соответственно (рис.2 б).

Согласно анализу рисунка 3б кислотно-щелочные условия рассматриваемых вод оказывают значительное влияние на формы миграции никеля. В более кислых водах растет процент миграции никеля в форме двухвалентного иона, так при pH 5,91 доля  $\text{Ni}^{2+}$  составляет 97 %, а при pH 7,43 процент миграции в данной форме снижается до 71 %.

Величина минерализации тоже оказывает влияние на формы миграции никеля. Водам с более низкой минерализацией соответствует более высокая процентная доля формы миграции  $\text{Ni}^{2+}$ . При минерализации вод 24 мг/л никель мигрирует в форме  $\text{Ni}^{2+}$  в 94%. При минерализации 111 мг/л доля  $\text{Ni}^{2+}$  снижается до 71%.

Таким образом, изучен химический состав природных вод района озера Имандра. Рассматриваемые воды от слабокислых до слабощелочных, ультрапресные, очень мягкие, гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Среди рассмотренных форм миграции меди преобладающими являются  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{CuCO}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{HCO}_3)_2^-$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})^-$ , доля которых составляет от 1 % до 49 %. Среди форм миграции никеля преобладающими являются

следующие  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $(\text{NiHCO}_3)^+$  и  $\text{NiCO}_3$ . Установлено, что на соотношение форм миграции никеля и меди значительное влияние оказывают кислотно-щелочные свойства вод и их минерализация

### Литература

1. Букаты М. Б. Геоинформационные системы и математическое моделирование. Учебное пособие. - Томск: Изд. ТПУ, 2009. - 75 с.
2. Кирюхин В. А. Гидрогеохимия: Учеб. для вузов. / В. А. Кирюхин, А. И., Коротков С. Л. Шварцев. - М.: Недра, 1993. - 384с.: ил
3. Геохимия природных вод / В. А. Кирюхин, В. М. Швец // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. - 2010. - № 3. - С. 282-288. - Библиогр.: с. 288
4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. -М.: Наука, 2004. - 677 с.
5. Перельман А.И. Геохимия природных вод. - М.: Наука, 1982. - 154 с.
6. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. -2-е изд., исправл. и доп. -М.: Недра, 1998. -336с.

## ГИДРОГЕОХИМИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БОВАНЕНКОВСКО-НУРМИНСКОГО НАКЛОННОГО МЕГАВАЛА (ПОЛУОСТРОВ ЯМАЛ)

К.В.Сесь

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, E-mail: seskv@ipgg.sbras.ru

**Аннотация.** В пределах нефтегазоносных отложений Бованенковско-Нурминского наклонного мегавала выявлены подземные воды с минерализацией 3–23 г/дм<sup>3</sup>, преимущественно хлоридного натриевого состава. Хлоридно-гидрокарбонатные натриевые и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые типы воды характерны для апт-альб-сеноманского и неокомского гидрогеологических комплексов. Установлено, что наиболее минерализованными являются воды юрского гидрогеологического комплекса. В неокомском гидрогеологическом комплексе наблюдаются повышенные содержания ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Ca}^{2+}$ . В целом для разреза характерен прямой тип вертикальной гидрогеохимической зональности, который выражается в закономерном увеличении содержания основных солеобразующих макро- и микрокомпонентов с глубиной.

**Abstract.** Groundwaters with salinity of 3-23 g/dm<sup>3</sup> have been discovered within the Bovanenkovsko-Nurminsky tilting megaswell oil-and-gas bearing deposits, with primarily Cl-Na type of water composition. Cl-HCO<sub>3</sub>-Na and HCO<sub>3</sub>-Cl-Na types of water are typical only for Aptian-Albian-Cenomanian and Neocomian hydrogeological complexes. It is found that groundwaters of the Jurassic hydrogeological complex are the most mineralized. High concentrations of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and Ca<sup>2+</sup> ions are observed in the Neocomian hydrogeological complex. Generally, the normal vertical hydrogeochemical zoning is typical in the section. It is manifested by concentration changing in macro and microcomponent of groundwater with increasing depth.

Гидрогеохимия — это одно из научных направлений гидрогеологии, которая изучает вещественный состав подземных вод, процессы его формирования, историю и миграцию химических элементов в подземной гидросфере [4]. С 50-х годов XX века накоплен огромный фактический материал, отражающий основные особенности геологического строения и гидрогеологии Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна (ЗСНГБ). Большой вклад в изучение гидрогеологических особенностей ЗСНГБ внесли труды Ю.Г. Зимина, А.А. Карцева, А.Э. Конторовича, Н.М. Кругликова, А.Р. Курчикова, Б.Ф. Маврицкого, В.М. Матусевича, А.Д. Назарова, Д.А. Новикова, А.А. Розина, Н.Н. Ростовцева, Б.П. Ставицкого, С.Л. Шварцева и многих других. Их работы были направлены на выявление общих закономерностей гидрогеологического