

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ,  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ

УДК 574.05;504.05

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО  
КОМПЛЕКСА НА СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ  
БЛИЖАЙШИХ ОБЪЕКТОВ

© 2012 г. А. П. Зосин, Т. И. Приймак, Л. П. Сулименко, Т. А. Мингалева

*Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН*

*184209 Апатиты, ул. Ферсмана, 14 а*

*E-mail: zosin@inep.ksc.ru*

Поступила в редакцию 28.09.2010 г.

Рассмотрены условия формирования водообмена и качества вод озера, являющегося частью системы водоотведения действующего медно-никелевого металлургического предприятия. Составлен водный и материальный баланс озера, включающий технологический сток, выпадение атмосферных осадков и снеготаяние. Определены количественные и качественные характеристики донных отложений и вод, участвующих в водообмене озера. Оценены условия миграции тяжелых металлов из донных отложений и определены их динамические слои. Предложен ряд мероприятий для снижения негативного воздействия медно-никелевого комбината на водные объекты.

*Ключевые слова:* мониторинг, водопользование, экосистема, водный и материальный баланс, донные отложения, гидрохимические параметры, трансформация, биогенные элементы, рентгенометрические исследования, биотехнологические мероприятия.

Предприятия металлургической и горнодобывающей промышленности России влияют на состояние водных ресурсов, находящихся в районе промышленных комплексов. Одни из наиболее опасных загрязняющих веществ (ЗВ) природной среды – тяжелые металлы (ТМ), которые способны мигрировать между ее взаимодействующими составляющими (воздух – вода – техногенные отложения – донные отложения (ДО) водных объектов) в зоне производства и накапливаться в наиболее инерционных циклах. Заметнее всего загрязняются водоемы, являющиеся одновременно и частью системы водоотведения действующего производства, и объектом водопользования населения в близлежащем районе.

Проведение эколого-технологического анализа на примере горно-металлургического комплекса Мурманской обл. позволяет разработать стратегию наименьшего воздействия производственной деятельности на состояние водных объектов в районе и меры по экологической реабилитации водоемов и малых рек.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Медно-никелевый комбинат в Мурманской обл. – одно из крупнейших в России металлургических предприятий по переработке сульфидных медно-никелевых руд.

Оз. Нюдъявр – часть техногенно-модифицированного ландшафта, на котором расположен комбинат (рис. 1). Это озеро представляет собой часть экосистемы, испытывающей интенсивное влияние техногенных нагрузок, связанных с деятельностью промышленно-территориального комплекса, сбрасывающего сточные воды в отдельную северо-западную часть водоема, из которой вода поступает в оз. Имандра (рыбохозяйственный водоем высшей категории). Северо-западная часть оз. Нюдъявр отделена от южной дамбой с расположенными в ней перепусками очищенных сточных вод. Южная часть озера – отстойник технологических стоков комбината. Основные потоки, формирующие режим водообмена озера, – это сброс вод из южной части озера (до 30%) и приток из рек Кумужья и Травяная (~30%). Основной сток приходится на р. Нюдуаи (80–90%). Остальные поступления (40%) можно отнести к склоновому стоку и подземным (грунтовым) водам (неконтролируемым стокам).

Оз. Нюдъявр (площадь водосбора ~80 км<sup>2</sup>) занимает впадину с заболоченными берегами к северу от окружающих его сопков. Площадь водной поверхности его северной части составляет 2,91, южной – 0,7 км<sup>2</sup>. Озеро отличается небольшими глубинами – 1,5–1,7 м, наибольшая глубина – 2,2 м – в центральной части озера в районе стока южной части через дамбу. Длина северной части озера – 2,4 км, ширина – 1,2 км.



**Рис. 1.** Карта-схема расположения медно-никелевого комплекса. 1 – территория г. Мончегорск; 2 – промплощадка КГМК; 3 – отстойник технологических стоков КГМК – южная часть оз. Нудъявр; 4 – дамбы; 5 – наблюдательные створы на водных объектах: 1 – выпуск 1 – сброс воды из южной части озера, 2 – выпуск 2 – исток р. Нюдуай, 3 – р. Пыслъuschимъявр (Чимъявр), 4 – р. Кумужья, 5 – р. Травяная.

Водное питание оз. Нудъявр обеспечивается несколькими ручьями в различных его частях. С запада в оз. Нудъявр впадает р. Кумужья, на водосборной площади которой сосредоточены корпуса и промышленные площадки комбината. С северо-запада в озеро впадает р. Травяная с мелкими притоками. Единственная река, по которой сбрасывается весь сток бассейна, – Нюдуай, вытекающая из северо-восточной части озера. В пределах водосбора оз. Нудъявр существует два горизонта подземных вод, оба получают основное питание от атмосферных осадков, имеют между собой гидравлическую связь, могут выклиниваться в поверхностную русловую сеть [1]. За время производственной деятельности в северо-западной части озера сформировались мощные слои ДО, преобладание которых наблюдается во впадинах на дне озера, достигающих 6 м. Известно, что цветные ТМ, накапливаемые в ДО, способны не только к миграции при изменении гидрологического режима, но и к длительному циркулированию в экосистемах и потенциальной биоакку-

муляции в живых организмах, включая гидробионты [15].

В результате известкования технологического стока в сбрасываемых водах присутствуют соли Ni, Cu, Co в виде взвешенных веществ, а также нефтепродукты, флотореагенты [3]. Воды оз. Нудъявр значительно отличаются по качеству от природных вод. В результате технологического воздействия заболачивание берегов оз. Нудъявр изменяет площадь водосбора и снижает уровень самоочищающей способности озера, что определяется низкой обеспеченностью биогенными элементами и пониженным рН. Кроме того, снегоремки в районе северной части оз. Нудъявр показали, что значительная часть ЗВ поступает на площадь водосбора в процессе аэротехнопереноса [10].

В связи с вышеизложенным необходимы мероприятия по восстановлению оз. Нудъявр и разработке эффективного способа снижения его загрязнения из-за повышенного содержания ТМ. С этой целью было выполнено эколого-технологическое исследование системы водопотребления и

Таблица 1. Соотношение факторов материального баланса в различные годы

Источник сброса	2004	$K_{\text{соотн}}$	2005	$K_{\text{соотн}}$	2006	$K_{\text{соотн}}$	2007	$K_{\text{соотн}}$	2008	$K_{\text{соотн}}$
Осадки, тыс. м <sup>3</sup> /год										
р. Травяная	9209.2		9363.76	0.968	8745.52	1	9669.66	1.105	7889	0.902
р. Кумужья	30487		30999.28	0.968	28952.56	1	32011.98	1.105	26117	0.902
Выпуск 1	3123.12		3175.536	0.965	2965.872	1	3279.276	1.105	2675.40	0.902
Итого	42819.92		43538.576	0.968	40663.952	1	44960.916	1.105	36681.4	0.902
Стоки и сбросы, тыс. м <sup>3</sup> /год										
р. Травяная	6046		8091	1.163	6956	1	7330	1.054	7232	1.04
р. Кумужья	6047		7353	1.671	4400	1	6283	1.428	4373	0.994
Выпуск 1	15886		15589	0.884	17631	1	18202	1.032	12972	0.736
Итого	27979		31033	1.071	28987	1	31815	1.098	24023	<b>0.829</b>
Прочие воды	5176		9000	1.26	7147	1	10650.0	1.49	16258.0	<b>2.275</b>
Валовый сброс Ni в сточных водах, кг/год										
р. Травяная			1723.27	1.2562	1376.26	1	1604.49	1.166	1374.915	0.999
р. Кумужья			1687.07	1.783	946.101	1	1234.519	1.305	778.752	0.823
Выпуск 1			874.305	1.31	667.279	1	1204.536	1.804	994.386	1.490
Итого			4284.645	1.433	2989.64	<b>1</b>	4043.545	1.353	3148.053	1.053
Прочие воды			8841.094	1.094	8081.333	<b>1</b>	6109.488	0.756	7666.259	0.949
Валовый сброс Cu в сточных водах, кг/год										
р. Травяная			1122.558	1.429	785.456	<b>1</b>	908.207	1.156	763.69	0.972
р. Кумужья			527.835	1.834	287.245	<b>1</b>	434.785	1.514	262.41	0.914
Выпуск 1			116.013	1.042	111.378	<b>1</b>	116.088	1.042	98.744	0.887
Итого			2524.788	2.132	1184.079	1	1459.143	1.232	1124.844	0.950
Прочие воды			773.229	2.28	339.112	1	1082.37	3.192	960.371	2.832

водоотведения стоков медно-никелевого предприятия. В работе были использованы данные о состоянии экосистем в районе оз. Нюдъявр [2] и результаты экспериментальных исследований авторами настоящей статьи.

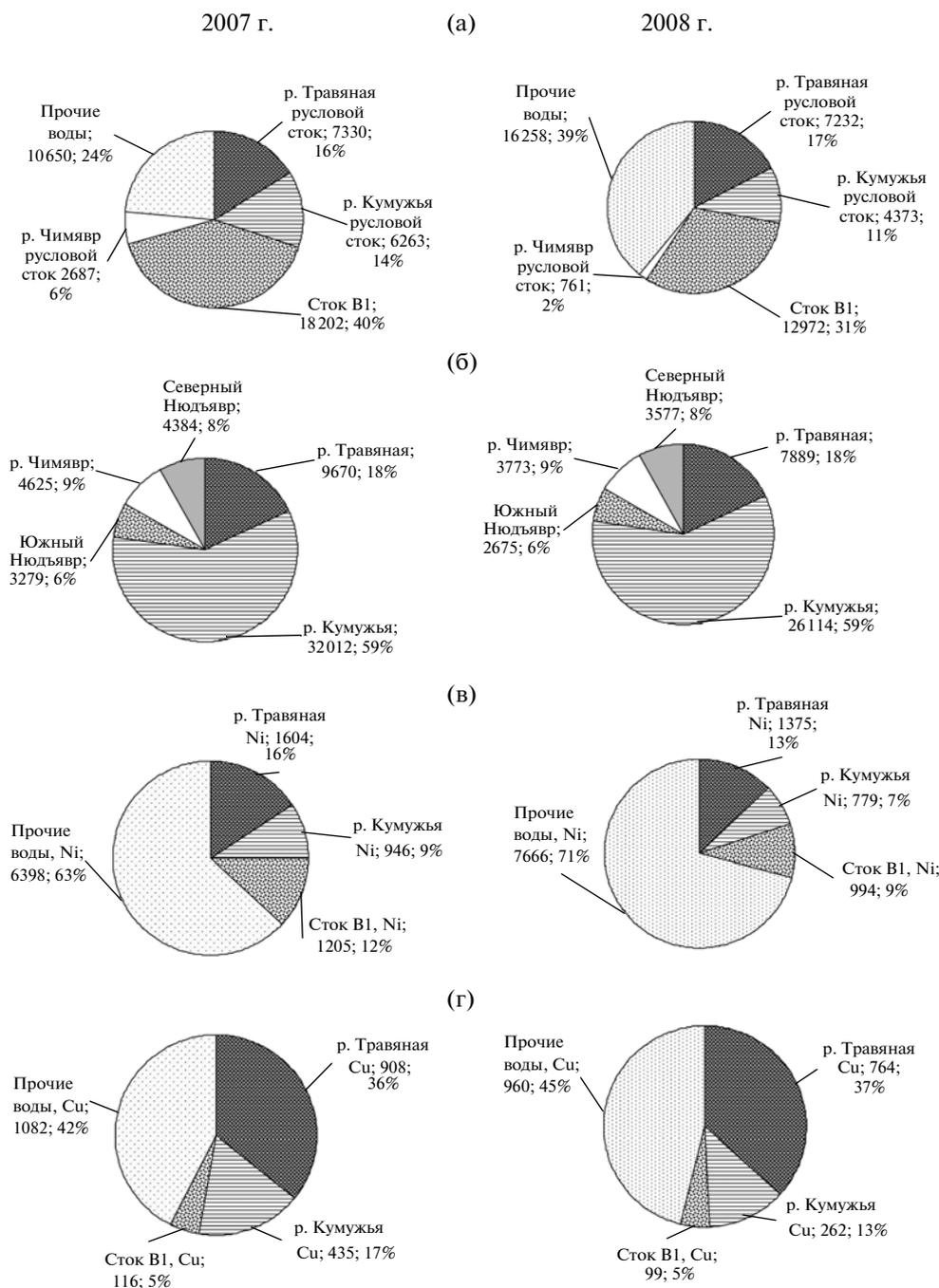
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На формирование качества и объема стоков оказывают влияние сезонные поступления атмосферных осадков и весеннего снеготаяния, поэтому данные рассматривались с учетом водности года. Неконтролируемые стоки – все воды, поступающие сверх суммарного учитываемого притока за счет технологического стока предприятия, со стоком рек Кумужья, Травяная, канала Пыслысчимъявр, а также с атмосферными осадками.

Водный и материальный балансы по важнейшим ЗВ составлен по данным мониторинговых исследований за несколько лет. Из северной части оз. Нюдъявр вытекают неконтролируемые во-

ды, источник поступления которых в озеро определенно не установлен и которые представляют собой наиболее значительный выброс ЗВ из озера (рис. 2, табл. 1). В табл. 1 представлены сравнительные характеристики водного и материального балансов за 4 года. Для характеристики неконтролируемых вод валовое загрязнение по ТМ определено как разность между загрязнением, поступающим из оз. Нюдъявр в оз. Имандра через р. Нюдауй, и суммарным загрязнением по ТМ основными источниками ТМ (реки Кумужья, Травяная, технологический сток предприятия).

Полученные данные представлены на круговых диаграммах (рис. 2), объединяющих водные и материальные балансы за 2007–2008 гг. (как наиболее различающиеся по выпадению осадков) с учетом водности года и, соответственно, выпадения атмосферных осадков на площади водосбора для стоков.



**Рис. 2.** Анализ водного и материального балансов северной части оз. Нудьявр для 2007 и 2008 гг.: (а) – притоки воды, тыс. м<sup>3</sup>; (б) – распределение по частным водосборам суммарных годовых осадков, тыс. м<sup>3</sup>; (в), (г) – поступление по источникам сброса Ni, Cu, кг, соответственно.

Расчет поступления ЗВ с атмосферными осадками проведен с учетом норм выпадения осадков, площади водосбора и времени года.

Для выполнения исследований по оценке вероятности выноса цветных ТМ из ДО был проведен отбор проб в трех точках вблизи труб перетока из южной части озера в северную и к разлому, обозначенному на карте (где водные потоки наи-

более вовлечены в движение). ДО отбирались со льда цилиндрическим пробоотборником с лепестковым затвором. Толщина льда составляла 0.8 м, глубина озера 1.8 м. В каждой точке отбиралось по три параллельных пробы. Длина извлеченного кернового материала варьировала от 27 до 30 см. Керны упаковывали без разрушения в разборные полиэтиленовые контейнеры, замора-

**Таблица 2.** Расчет загрязнений, поступающих с атмосферными осадками в северную часть оз. Нюдъявр, по источникам стоков

Наименование источника поступления стоков	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Зимний период		Летний период		Сумма общих загрязнений, поступающих с атмосферными осадками
		среднемесячная норма выпадения ЗВ со снеговыми осадками, кг/км <sup>2</sup>	ЗВ со снеговыми осадками, кг/год	среднемесячная норма выпадения ЗВ с дождевыми осадками, кг/км <sup>2</sup>	ЗВ с дождевыми осадками, кг/год	
Количество Ni в осадках, кг/год						
р. Травяная	16.1	19.43	312.823	3.63	58.443	371.266
р. Кумужья	53.3	19.43	1035.619	3.63	193.479	1247.248
Южная часть оз. Нюдъявр (выпуск 1)	5.46	2.99	16.325	1.2	6.552	22.877
р. Пыслычимъявр	7.70	2.99	23.023	1.2	9.24	32.263
Количество Cu в осадках, кг/год						
р. Травяная	16.1	14.58	234.738	1.2	19.32	254.058
р. Кумужья	53.3	14.58	777.114	1.2	63.96	841.074
Южная часть оз. Нюдъявр (выпуск 1)	5.46	5.64	30.794	1.34	7.558	38.352
Канал Пыслычимъявр	7.70	5.64	43.428	1.34	10.318	53.746

живали при  $-20^{\circ}\text{C}$  и делили на фрагменты: верхний (0–5), средний (5–15) и нижний (15–27 см).

Отобранные образцы анализировали на химический и минералогический состав. Химический состав определяли по оксидам Ni, Cu, Co, Fe, органическому веществу и влажности (потери при прокаливании). Анализ проводили на атомно-адсорбционном спектрофотометре “Квант-2”, контроль правильности и прецизионности результатов осуществлен в соответствии с ОСТ 41-08-214-04 и ОСТ 41-08-265-04. Минералогический состав определяли методом рентгенофазового, дифференциально-термического, ИК-спектрометрического анализов. Рентгенометрические исследования проводились на рентгеновском дифрактометре ДРОН-20.

Экспериментальное изучение выноса цветных ТМ из ДО под воздействием водных растворов, имеющих различное значение рН, проводили в статических условиях при соотношении твердой и жидкой фаз Т : Ж = 1 : 10,  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  и периодическом перемешивании. рН создавали с использованием растворов соляной кислоты и натриевой щелочи, его значения – 4.05, 6.01, 9.83. Время контакта составило 7 сут.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

По данным материального баланса, преобладающая часть ЗВ поступает с неконтролируемыми водами, к которым относятся, в основном, подземные воды. Перераспределение объемов сброса стоков и ЗВ происходит в зависимости от водности года, причем в маловодный год Ni и Cu поступает с неконтролируемыми водами больше, чем в маловодный год.

Заметное различие в величине водосборных площадей определяет различное количество атмосферных осадков. Наибольшая площадь водосбора – у р. Кумужьей (~70% общей водосборной площади), наименьшая – у промплощадки комбината (выпуск 1). Соответственно, больше всего осадков поступает на водосборную площадь р. Кумужьей. Изменение объемов стоков рек Кумужьей и Травяной в основном коррелирует с выпадением осадков. Для всего периода наблюдений количество неконтролируемых вод не коррелирует с количеством осадков, а скорее имеет тенденцию к обратной зависимости. При увеличении количества осадков объем неконтролируемых вод возрастает (рис. 2, табл. 2) Это говорит о наличии дополнительного вклада вод в эту составляющую. Это особенно заметно в самом маловодном 2008 г. Количество стоков уменьшилось, а количество неконтролируемых вод увеличилось на 40% по

Таблица 3. Баланс распределения загрязнений ТМ по источникам поступления стоков (по данным 2008 г.)

Наименование источника поступления сточных вод	Величина сброса		Поступление загрязнений					
			с атмосферными осадками		с промышленными водами		с неконтролируемыми (прочими) водами	
	кг/год	% общего сброса	кг/год	% общего сброса	кг/год	% общего сброса	кг/год	% общего сброса
Сброс Ni по источникам стоков								
Выпуск 2	8354.231	100.0	2066.176	100.0	1149.396	13.76	4135.01	49.5
р. Травяная	1374.915	16.46	371.266	17.97	—	—	1003.649	12.01
р. Кумужья	1234.519	14.78	1247.248	6.04	—	—	—	—
Выпуск 1	1204.536	14.42	22.877	1.10	1149.396	13.76	1181.659	14.14
Канал Пыслы-счимъявр	172.0	2.06	32.263	2.57	—	—	139.737	1.67
Итого	3985.97	47.72	1989.78	96.3	—	—	2153.045	27.82
Дисбаланс	4368.261	52.28	76.396	3.7	—	—	1981.965	21.68
Сброс Си по источникам стоков								
Выпуск 2	2072.942	100.0	1417.679	100.0	10.1472	0.49	645.116	31.12
р. Травяная	707.897	34.15	254.058	17.92	—	—	453.839	21.89
р. Кумужья	418.405	20.18	841.074	59.33	—	—	—	—
Выпуск 1	102.006	4.92	91.8588	6.48	10.1472	0.49	10.1472	0.49
Итого	1228.308	59.25	1186.99	83.73	—	—	463.986	22.38
Дисбаланс	844.634	40.75	230.689	16.27	—	—	190.13	8.74

сравнению с самым многоводным 2007 г.; в то же время количество принесенного с ними Ni увеличилось почти на 25%, сброс Си уменьшился на 30% при снижении объема сброса на 60%, тогда как по р. Травяной снижение составляет 17%. Это согласуется с установленными данными о путях и формах поступления Ni и Си с атмосферными осадками в естественные водоемы [5, 15]. Для Си наиболее характерна растворенная форма, образующаяся за счет взаимодействия с биологическими объектами, а Ni находится преимущественно в труднорастворимой форме в составе шпинелей пылегазовых выбросов.

При снижении поступления атмосферных осадков на площадь водосбора в 2008 г. низкие скорости водных потоков способствуют процессу закрепления Ni в составе железистых шпинелей на почвах, в то время как соединения Си на болотистой территории водосбора р. Травяной частично участвуют в качестве биогенного элемента в окислительно-восстановительных процессах с участием биоты и переходят в формы, способные мигрировать в северную часть оз. Нюдъявр. Часть неконтролируемых вод не связана с поверхностными водами (в таком случае не наблюдалось бы такое различие в загряз-

нении неконтролируемых и контролируемых водных стоков).

Данные материального баланса (табл. 3) показывают, что только 10% ТМ, поступающих со всеми стоками в северную часть оз. Нюдъявр, приемником которых является эта часть озера, оседает в чаше водоема. Вся остальная масса ЗВ, представленная цветными металлами, поступает в губу Монче (оз. Имандра).

Сведений о режиме грунтовых и подземных вод недостаточно, есть данные о наличии тектонического разлома, проходящего через оз. Нюдъявр, и существовании двух горизонтов подземных вод [1, 7], что позволяет связать увеличение объемов сброса в р. Нюдау со значительным поступлением грунтовых и пластовых вод (как части неконтролируемых вод именно в период маловодности стоков). Эти воды, имеющие низкую степень загрязненности по ТМ и низкие значения pH (~5), поступая в оз. Нюдъявр, меняют динамическое равновесие в системе вода–ДО и вымывают значительную часть ТМ из ДО. На возможность этих процессов указывает проведенное экспериментальное моделирование миграции ТМ из ДО в зависимости от pH. Вымыванию ТМ из ДО способ-

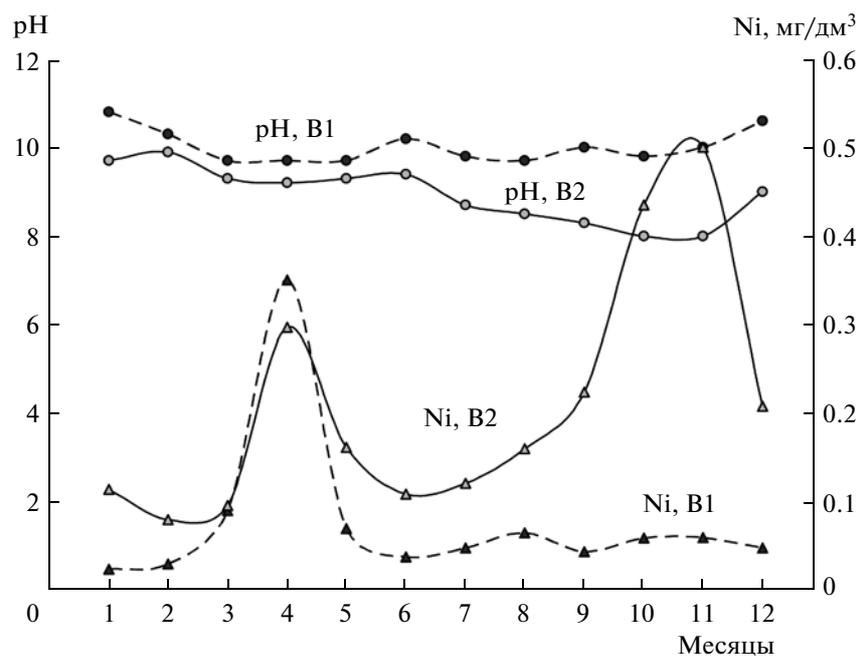


Рис. 3. Динамика изменения pH и концентраций Ni на выпусках B1 и B2 в течение 2008 г.

ствуют также талые воды, имеющие pH от 4.28 до 6.2 [12]. Об этом говорит снижение pH в период половодья в р. Ньюдай (рис. 3).

Анализ динамики объемов сброса в течение года представлен на рис. 4а, 4б для 2007 и 2008 гг. Характер поступления сбрасываемых вод в озеро по разным источникам сброса зависит от водности года: сброс, связанный с поступлением подземных вод, увеличивается в маловодный год, сброс в многоводный год коррелирует с прохождением паводка. Максимальное загрязнение водоемов связано с неконтролируемыми водами.

Количественные характеристики стока по Ni и Cu в течение 2008 г. (рис. 5) подтверждают различный характер процессов поступления ЗВ по источникам сброса. Для Ni при снижении поступления атмосферных осадков максимумы сброса приходятся на неконтролируемые воды,

что можно объяснить только поступлением подземных вод: при снижении уровня воды озера увеличивается накопление подземных и грунтовых вод с высоким содержанием ТМ. Максимумы сброса Cu зависят от количества сбрасываемых вод и приходятся на стоки рек Травяной и Кумужьей.

По результатам рентгенометрического и рентгенофазового анализа в пробах ДО обнаружено заметное содержание аморфной фазы, кварца, полевых шпатов. Присутствуют также в незначительных количествах амфибол, кальцит, ангидрит (по 2–3%). Выполненные анализы показали незначительные колебания минералогического состава ДО в местах отбора проб, что свидетельствует об одном источнике их образования (табл. 4).

Отобранные образцы различаются содержанием органического вещества по высоте керна (табл. 4):

Таблица 4. Химический состав ДО в оз. Ньюдьявр

Точка отбора пробы	Наименование и содержание элементов, мас. %				
	Ni	Cu	Co	Fe <sub>общ</sub>	S
Проба 1 (верхний слой)	2.15	0.49	0.013	2.42	1.73
Проба 2 (нижний слой)	6.49	1.54	0.071	6.82	4.19
Проба 2 (обработанная при 450°C) (нижний слой)	6.71	1.46	0.085	5.81	4.10
Проба 2 (нижний слой, высушенная при 450°C и обработанная H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	7.70	1.73	0.099	6.90	1.10
Проба 3 (средний слой)	14	1.94	0.012	7.2	5.9

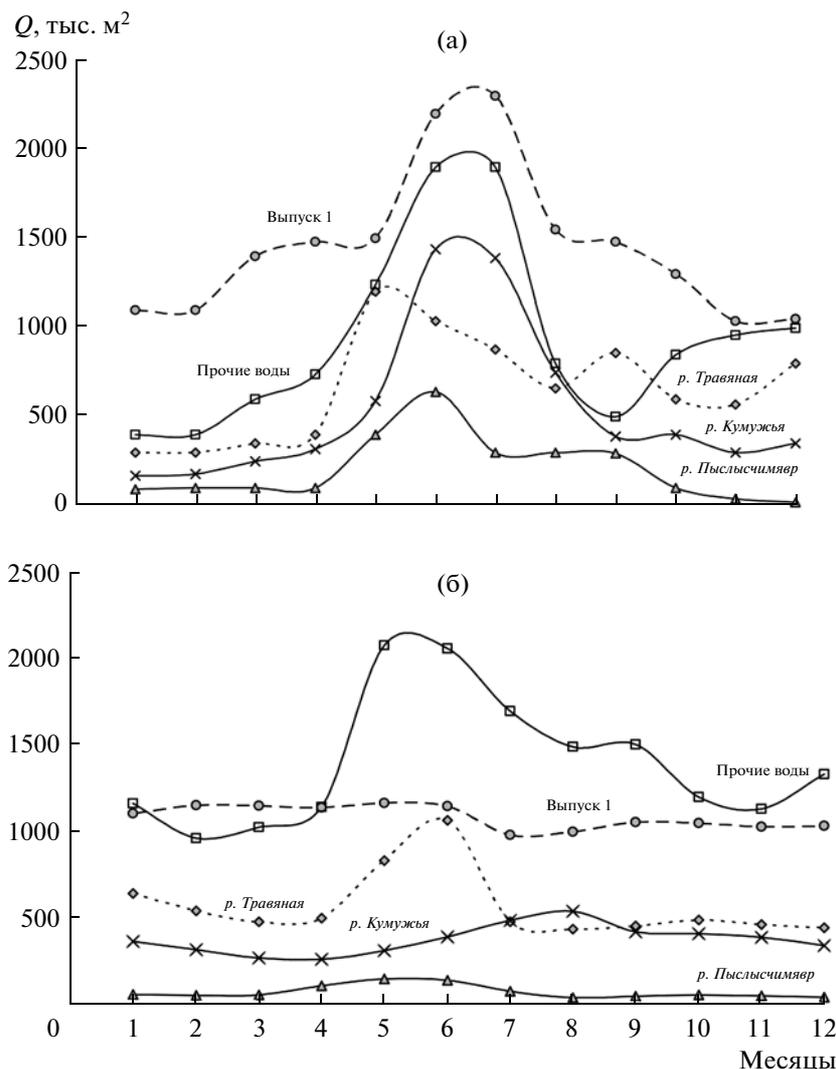


Рис. 4. Динамика изменения объемов сброса в течение года, тыс. м<sup>3</sup>: (а) – 2007 г., (б) – 2008 г.

наибольшее – в верхнем (70–75), среднем (50) и нижнем (3.5%) слоях. Влажность образцов, определяемая путем сушки до постоянного веса при температуре 105°C, составляла от 20 до 85%.

Химический анализ изученных проб, в целом, подтверждает предварительные выводы рентгенофазовых исследований (табл. 4). Результаты анализа свидетельствуют о том, что содержание Ni, Cu, Fe<sub>общ</sub>, S увеличивается в пробе 2 (средний слой керна) по сравнению с пробой 1 (нижний слой керна). Наблюдается резкое уменьшение S в пробе 2, обработанной раствором перекиси водорода (перевод S<sup>-2</sup> в SO<sub>3</sub><sup>-2</sup> и удаление SO<sub>2</sub> при дальнейшем нагревании).

При моделировании процессов миграции ТМ из ДО при различных рН подтверждено, что степень миграции загрязнений ДО напрямую связана с состоянием поверхности водосбора и формой ЗВ

в них [2, 11]. Содержание подвижных форм в верхнем слое ДО определяет характер протекания процессов обмена водной массы оз. Ньюдьявр.

Как видно из полученных данных (табл. 5), независимо от рН исходного раствора происходит вынос цветных ТМ из ДО в контактный раствор. Максимальная концентрация катионов цветных металлов в растворе наблюдается через 7 ч взаимодействия ДО – контактный раствор, после чего наблюдается некоторое переосаждение выделившихся металлов. Причиной этого явления могут быть процессы гидролиза минеральных фаз, входящих в состав ДО, с выделением в раствор компонентов, способных образовывать труднорастворимые соединения с катионами цветных металлов в условиях изменившегося рН раствора [11]. Присутствие цветных металлов в ДО в виде их сульфидов снижает вынос их в фазу раствора; органоминеральная фаза, содержащая цветные

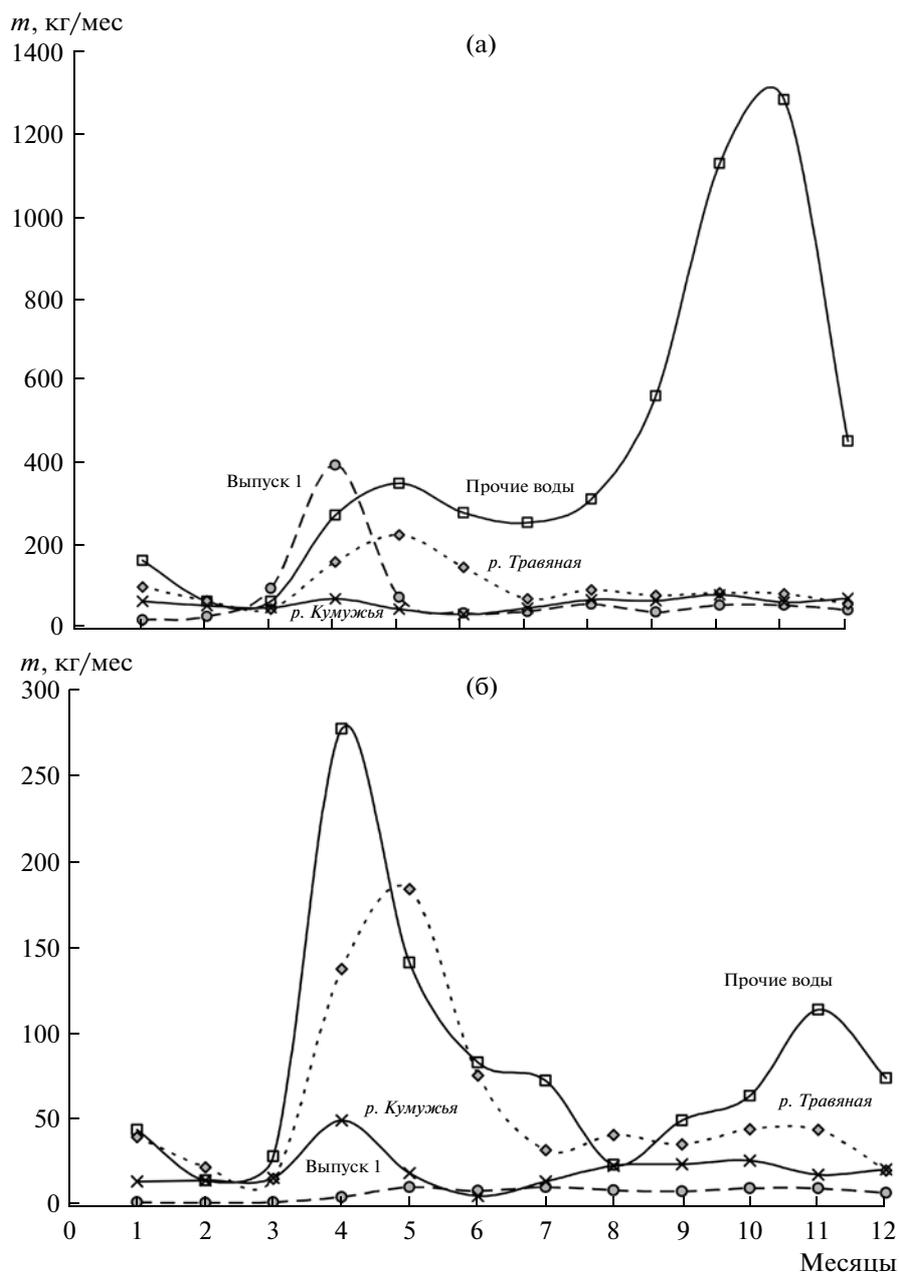


Рис. 5. Динамика сброса, кг/мес, Ni (а) и Cu (б) от различных источников в северную часть оз. Нудъявр в 2008 г.

металлы, более мобильна. Депонирование цветных металлов в ДО в нерастворимой форме происходит в условиях аноксии за счет сульфидредуцирующих микроорганизмов [4]. В то же время присутствие цветных металлов в амфотерных соединениях, способных к диссоциации в широком интервале рН, способствует их выносу из ДО.

## ВЫВОДЫ

Имеющийся в мировой практике опыт восстановления водоемов показывает, что для проведе-

ния реабилитационных мероприятий для водоема при отсутствии техногенной нагрузки необходимо ~20 лет, поэтому восстановление оз. Нудъявр в короткие сроки представляется маловероятным и экономически неоправданным. Основная ближайшая задача – возможное снижение поступления ЗВ в оз. Имандра путем совершенствования системы водооборота, а также создание условий для самоочищения вод озера за счет интенсификации микробиологических процессов с участием сульфидредуцирующих бактерий.

**Таблица 5.** Кинетика растворимости Ni, Co, Cu при различных рН ДО оз. Нюдъявр (Т : Ж = 1 : 10)

рН	Ni, мг/л				Cu, мг/л				Co, мг/л			
	7 ч	1 сут	3 сут	7 сут	7 ч	1 сут	3 сут	7 сут	7 ч	1 сут	3 сут	7 сут
Проба 1, нижняя часть керна ДО												
4.05	0.87	1.22	1.94	0.87	0.10	0.15	0.05	0.10	0	0	0.03	0
9.83	0.55	1.22	1.52	0.65	0.10	0.20	0.05	0.10	0	0	0.03	0
6.01	0.65	1.61	1.61	0.80	0.15	0.20	0.10	0.10	0	0	0	0
Проба 2, верхняя часть керна ДО												
4.05	37.3	22.8	42.0	30.9	0.75	1.20	1.00	0.85	1.77	0.60	0.83	1.60
9.83	23.4	40.5	40.9	35.0	0.50	0.85	0.70	0.60	0.63	2.50	1.70	1.45
6.01	34.0	19.5	42.0	41.5	1.10	1.25	1.00	0.80	1.33	0.47	1.70	2.70
Проба 3, центральная часть керна ДО												
4.05	39.0	40.3	45.0	39.0	0.25	0.25	0.45	0.30	2.13	2.40	4.51	2.57
9.83	34.7	30.1	43.3	38.6	0.20	0.10	0.35	0.30	1.43	1.10	3.62	2.53
6.01	40.9	41.5	44.7	39.7	0.30	0.25	0.40	0.30	2.53	2.77	4.40	2.71

Сокращение техногенной нагрузки на водосбор озера возможно за счет введения в основной производственный цикл более совершенных технологических операций получения товарных Ni, Cu, Co, особенно – направленных на сокращение пылегазовых выбросов.

Значительная часть загрязнений по ТМ поступает в паводковые воды при таянии снега, куда они попадают за счет пылеуносов, исключить которые в действующем металлургическом производстве сложно. Также источники загрязнения – шламы и металлургические шлаки, в которых металлы временно депонируются, но затем постепенно рассеиваются в окружающей среде. Применение технических мероприятий, связанных с сорбционным извлечением (или химическим осаждением), не достаточно эффективно. Поскольку источники поступления ЗВ не локализованы, актуальными представляются мероприятия, направленные на очистку самого оз. Нюдъявр как накопителя ЗВ. Это возможно путем применения новых экологических биотехнологий с целевым использованием биологических систем и процессов с участием микроорганизмов. Для успешного применения такого биотехнологического способа детоксикации промышленных вод немаловажное значение имеет выбор растений [6] с высокой способностью поглощения органических ЗВ и биогенных элементов в условиях изменения гидрологического режима и гидрохимии воды при низких температурах. Возможно также создание естественных эколого-

геохимических барьерных зон, роль которых могут играть болотные системы для аккумуляции и утилизации ЗВ [14].

В местах перетока воды из загрязненного озера в рыбохозяйственный водоем установка кассетных фильтров с загрузками на основе карбонатов или других материалов [9] позволит задержать значительную часть ЗВ, связанных со взвешенными веществами, и обеспечить карбонатно-кальциевый состав сточных вод, близкий к природному.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьев В.Н.* Родники земли Кольской. Мурманск, 2009. 144 с.
2. *Даувальтер М.В., Даувальтер В.А.* Химический состав подземных вод в зоне влияния ГМК “Североникель” // Матер. Междунар. конф. “Экологические проблемы северных регионов и пути их решения”. Апатиты, 2004. С. 47–48.
3. Ежегодник качества поверхностных вод на территории деятельности Мурманского УГКС Госкомгидромета. Мурманск, 1984–1991 гг.
4. *Зайнуллин Х.Н., Смирнова Г.Ф., Талиакбаров М.Ф.* Применение сульфатовосстанавливающих бактерий для биохимической очистки сточных вод машиностроительных предприятий // Химия и технология воды. 1980. Т. 2. № 3. С. 272–275.
5. *Кочарян А.Г., Толкачев Г.Ю.* Гидроэкология; определение возможности вторичного загрязнения тяжелыми металлами на основании их содержания в донных отложениях // Инженерная экология. 2009. С. 37–50.

6. *Кравец В.В., Бухгалтер Л.В., Акольвин А.П., Бухгалтер Б.Л.* Высшая водная растительность как элемент очистки сточных вод // *Экология и промышленность России*. 1999. № 8. С. 20–23.
7. *Красинцева В.В., Гричук Д.В., Романова Т.И. и др.* Процессы и формы нахождения химических элементов в поровых водах донных отложений в Ивановском водохранилище // *Геохимия*. 1982. № 9. С. 1342–1355.
8. *Овцов Л.П., Сучилин Н.А., Быстров А.А., Алымов В.А.* Способ очистки сточных вод с использованием элементов естественной экологической системы // *Экологические системы и приборы*. 1999. № 1. С. 62–64.
9. *Пестриков С.В., Исаева О.Ю., Мустафин А.Г. и др.* Экологические технологии: применение карбонатного эколого-геохимического барьера для удаления тяжелых металлов из водных сред // *Инженерная экология*. 2006. № 2. С. 8–19.
10. *Раткин Н.Е.* Снежный покров и его роль в количественной оценке аэротехногенного загрязнения подстилающей поверхности // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2002. № 6. С. 46–54.
11. *Раткин Н.Е.* Оценка воздушной интеграции выбросов сульфатов, никеля и меди на территории Мурманской области. Ч. 2 // *Проблемы региональной экологии*. 2005. № 4. С. 6–13.
12. *Ремизова А.М.* Геологическая карта Мурманской области. Кольская серия. Q36–III, IV (Апатиты). Масштаб 1 : 200000. 2004.
13. *Савельева С.Л., Эпов А.Н.* Очистка сточных вод на биоплато // *Экология и промышленность России*. 2000. № 8. С. 26–28.
14. *Саксин Б.Г., Крупская Л.Т.* Роль болотных систем в очистке стоков горных предприятий Дальнего Востока // *Горный журн.* 2004. № 2. С. 76–78.
15. *Тарасевич И.Г., Паламарчук И.К., Набиванец Б.И.* К вопросу о влиянии донных отложений на формирование состава поверхностных вод // *Гидробиол. журн.* 1975. Т. 11. № 6. С. 25–30.