

© Ю.Г. ТАЦИЙ

tatsy@geokhi.ru

УДК 504.05: 550.4

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ  
КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА**

*АННОТАЦИЯ. В результате длительной работы крупного медеплавильного производства в районе г. Карабаш образовалась техногенная геохимическая аномалия. На основании результатов анализа отобранных в ходе полевых работ образцов сделана оценка распределения тяжелых металлов и мышьяка в воздухе, поверхностных водах, почве и донных отложениях в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината. Сопоставление полученных результатов с данными фондовых материалов, полученными до модернизации КМК, не показывает кардинального изменения ситуации. Несмотря на значительное снижение выбросов загрязняющих веществ, индекс загрязнения атмосферы в жилой зоне составляет 6,6, что соответствует высокому уровню загрязнения. Степень загрязнения почв, донных отложений и поверхностных вод тяжелыми металлами остается достаточно высокой, а намечившееся за время остановки комбината (1990-1998 гг.) восстановление почвенного покрова и растительности замедлилось. В то же время Карабашская геотехногенная аномалия представляет собой природно-техногенный полигон, который позволяет изучать окружающую среду в условиях изменения техногенной нагрузки.*

*SUMMARY. As a result of continuous large-scale copper-smelting production in Karabash area was formed technogenic geochemical anomaly. The results of chemical analysis of field collected samples allow to evaluate the distribution of heavy metals and arsenic in air, surface water, soil and sediments in the area of influence of Karabash copper smelter. The comparison of the obtained results with data obtained before the smelter modernization does not show a cardinal changes in the situation. Despite the significant reduction in pollutant emissions, atmospheric pollution index in a residential area is 6.6, which corresponds to the high level of pollution. Pollution of soil, surface water and sediments by heavy metals remains sufficiently high. The restoration of soil cover and re-vegetation outlined in the period of closed smelter (1990-1998) was slowed down. At the same time, the territory of Karabash geotechnogenic anomaly is the natural-technogenic test area, which makes it possible to study degradation and restoration of environment in a changing technological load.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Тяжелые металлы, Карабаш, загрязнение воды, почвы и воздуха.*

*KEY WORDS. Heavy metals, Karabash, water, air and soil and pollution.*

Экстенсивное развитие горнодобывающей и металлургической промышленности на Южном Урале нанесло значительный вред окружающей среде этого региона. В условиях несоблюдения экологических норм в зоне действия горно-промышленных и металлургических предприятий образуются локальные техногенные геохимические аномалии. Такие места могут рассматриваться в

качестве природно-техногенных полигонов для изучения процессов вовлечения химических веществ в природные миграционные потоки. Карабашская техногенная аномалия, образовавшаяся в зоне действия крупного медеплавильного комбината, представляет собой именно такой полигон, дающий уникальную возможность изучения деградации и восстановления окружающей среды в условиях изменения техногенной нагрузки.

За время существования Карабашского медеплавильного комбината (КМК) выбросы в атмосферу (более 10 млн тонн вредных веществ —  $\text{SO}_2$ , пыль, соединения тяжелых металлов), а также сбросы в речную систему неочищенных производственных, рудничных и бытовых сточных вод привели к интенсивному загрязнению почв, водных объектов, донных отложений и атмосферы токсичными веществами в масштабах, представляющих угрозу для проживающего здесь населения, к исчезновению лесов в ближайших к городу окрестностях, деградации почвенного покрова. В 1989 г. завод был остановлен, а в 1995 г. Министерство природных ресурсов и экологии РФ признало состояние окружающей среды этого региона соответствующим зоне экологического бедствия. В 1998 г. работа комбината была возобновлена и в настоящее время он интенсивно модернизируется. Однако район продолжает подвергаться, хотя и в меньшей степени, воздействию газообразных и пылевых выбросов комбината, а также сбросу сточных вод и кислотных стоков от заброшенных шахт.

Основой для решения экологических проблем должна служить объективная информация о реальном состоянии окружающей среды (водной, наземной и воздушной) региона и характер ее изменения со временем. Главной целью настоящей работы является оценка распределения тяжелых металлов и мышьяка в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината и сопоставление с данными, полученными до его модернизации.

Карабаш расположен в плоской долине, протянувшейся с юго-запада на северо-восток. Ориентировка горных гряд с высотами до 600 м и преобладание западных ветров создает сложную картину распределения аэральных промвыбросов, а в безветренную погоду приводит к их оседанию на городской территории. Восточное горное обрамление города, являясь орографическим барьером на господствующем направлении эмиссий, препятствует их быстрому оттоку и способствует возникновению в долине инверсионных (смоговых) ситуаций.

По официальным данным за 2002 г. (форма 2-ТП воздух) КМК выбросил в атмосферу 97,3 тыс. т загрязняющих веществ, из которых 67,6 тыс. т (70%) диоксида серы. Проведенное в 2003 г. Челябинским ЦГМС исследование [1] качества атмосферного воздуха показало очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха. Максимальная концентрация Pb в селитебной зоне превышала ПДК в 156,2 раза, а под факелом — 192 ПДК на расстоянии 1 км от источника и 97,6 ПДК на расстоянии 3 км. Максимальная разовая концентрация  $\text{SO}_2$  составила 11,5 ПДК, а среднегодовая концентрация превысила ПДК в 2,2 раза. Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитанный по примесям, вносящим наибольший вклад в загрязнение (свинцу, формальдегиду, взвешенным веществам, диоксиду серы и фториду водорода), составил 21.

По результатам аналогичной работы, выполненной Челябинским ЦГМС в 2006-2007 гг. [2], уже после ввода в строй новой печи и запуска сернокислотного цеха, ИЗА составил 10,3, максимальные среднесуточные концентрации

Pb и Cu превысили ПДК в 61,7 и 3,4 раза соответственно. Максимальная разовая концентрация  $\text{SO}_2$  составила 3,4 ПДК<sub>мр</sub>.

По результатам наблюдений за 2011 г. [3] уровень загрязнения атмосферного воздуха все еще соответствует градации «высокий»: ИЗА — 6,6 (рис. 1). К сожалению, основным недостатком этих работ являлось несоблюдение основного требования мониторинга — непрерывность наблюдений.

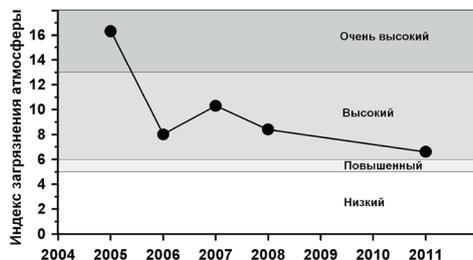


Рис. 1. Изменение комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), рассчитанного по примесям, вносящим наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха

Модернизация комбината, по официальным данным, привела к существенному снижению выбросов в атмосферу — диоксида серы более чем в 4 раза и неорганической пыли более чем в 10 раз. Однако следует отметить, что в Канаде, где основным источником эмиссии  $\text{SO}_2$  являются предприятия цветной металлургии, выбросы по всей Канаде в 2000 г. составили 2379 т, а по прогнозу на 2010 г. — 2244 т  $\text{SO}_2$  [4], что в несколько раз меньше, чем от одного Карабашского медеплавильного комбината, несмотря на значительные снижения выбросов в последние годы.

Полевые работы по изучению изменения окружающей среды в условиях изменяющейся техногенной нагрузки проводились в 2009-2011 гг. вокруг города Карабаш (Челябинская область, Южный Урал, Россия).

Образцы почв отбирали из верхнего слоя (до 10 см) и высушивали на воздухе. Пробы воды отбирали с поверхности после фильтрования промытые кислотой емкости объемом 100 мл.

Химический анализ проводили в Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН методами атомной абсорбции, масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой и атомной абсорбции холодного пара (Hg).

Карабашская техногенная экосистема сформировалась в результате длительного воздействия на окружающую среду горнодобывающего, металлургического, обогащательного и сопутствующих им производств. Химические элементы и их соединения, входящие в состав пылевых и газо-дымовых выбросов, осаждались в почвах, что привело к их глубокому изменению и формированию в них многочисленных, обширных и интенсивных аномалий токсичных металлов.

Основным типом зональных почв в районе г. Карабаша являются серые и темно-серые лесные почвы. В природных условиях этот тип почв характеризуется субнейтральной или слабокислой реакцией почвенного профиля с pH от 5,8 до 6,7, низким содержанием оснований (Ca и Mg). Содержание гумуса не превышает 4-4,5%. Все это определяет невысокую природную буферность таких почв и их слабую комплексообразующую способность для связывания посту-

пающих с аэральным потоком тяжелых металлов, т.е. их способность противостоять техногенным нагрузкам.

Несмотря на снижение выбросов, экологическая ситуация в регионе, возникшая в результате более чем 100-летней деятельности КМК, остается крайне сложной. В течение этого периода были созданы предпосылки для развития активных деградиационных процессов — эрозии почв и исчезновения растительного покрова.

За время работы КМК на прилегающей к нему территории сформировались две природно-техногенные зоны: импактная радиусом 6-8 км и буферная.

В импактной (опустыненной) зоне воздействие выбросов и вырубка лесов разрушили основной механизм, обеспечивающий устойчивость почвенного покрова и активизировали развитие на склонах плоскостной и линейной эрозии. Эта зона характеризуется отсутствием естественной растительности, почвенного покрова и наиболее высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами.

Буферную зону можно разделить на две подзоны — мертвопокровного березняка и деградированных лесов. Зона мертвопокровного березняка выделена по морфологическим признакам состояния березы, наиболее устойчивого к дымам медеплавильного производства вида. Прилегающая к импактной внутренняя часть буферной зоны постоянно испытывает приземное задымление, поэтому березняк здесь низкорослый, кривоствольный, с признаками хлороза, в то время как во внешней части он более высокий и без деформации стволов. В березняках на расстоянии до 4 км от КМК наблюдается полное отсутствие естественного возобновления. Для всей зоны характерно угнетение хвойных пород, их отсутствие на значительных территориях, образование при естественном восстановлении в основном лиственных лесов. Площадь деградированных лесов достигает 260 км<sup>2</sup>.

Проведенное в 1990-1991 гг. обследование селитебной территории г. Карабаша [5], полностью расположенной в буферной, а частично в импактной зоне, показало высокое содержание в почвах элементов I, II и III классов опасности. Геохимическая ассоциация по результатам анализа 622 проб имела вид Hg<sub>148</sub>Cu<sub>87</sub>Sb<sub>43</sub>Ag<sub>40</sub>Pb<sub>37</sub>As<sub>20</sub>Bi<sub>10</sub>Zn<sub>13</sub>Ni<sub>1,7</sub>, а средний суммарный показатель загрязнения для площади 34 км<sup>2</sup> составил Z<sub>c</sub> = 418, что в соответствии с «Критериями оценки экологической обстановки территорий...» [6] соответствует зоне экологического бедствия.

Анализ проб почв, отобранных в 2011 г. в буферной зоне на разном расстоянии от источника выбросов, также показал экстремально высокие концентрации по ряду элементов (табл. 1) и многократное превышение ПДК для As, Cu, Pb, Cd, Hg, Zn. Суммарный показатель загрязнения для этих проб Z<sub>c</sub> составил 463 и 252, что в несколько раз превышает значение, соответствующее зоне экологического бедствия.

Таблица 1

**Химический состав почв и подстилки на разном расстоянии от источника выбросов, мг/кг**

	4 км на север		2 км на юг A <sub>1</sub>	ПДК [7]	ОДК (для кислых почв) [8]	Класс опасно- сти
	Подстил- ка (A <sub>0</sub> )	A <sub>1</sub>				
pH		3,71	3,75			
C		0,53	3,10			
As	558	77,67	493	2.0	5	2

Окончание табл. 1

Ba	563	303	1373			3
Cd	100	2,83	12,7		1,0	2
Co	7,4	15,2	51,4			2
Cr	12,5	48,25	313,0			3
Cu	12165	997	4340	33	66	3
Fe	25665	21710	4750			3
Hg	4,5	0,88	2,28	2,1		1
Mg	1765	5763	26440			
Mn	2517	93	2426	1500		3
Ni	42	30,2	280		40	3
Pb	9609	339	900	32	65	2
S	6842	5810	6278	160		
Sb		2,26	9,57	4,5		2
Se		1,29	5,15			2
Sr	38,4	45,70	81,96			2
V	39,0	59,0	77,5	150		
Zn	17215	554	1877	55	110	3
Z <sub>c</sub>		252	463			

Хорошим индикатором загрязнения является лесная подстилка, которую можно рассматривать как аккумулятор поллютантов (табл. 1). Характерно, что с приближением к источнику выбросов происходит увеличение мощности (толщины) лесной подстилки, ее валовый запас в буферной зоне более чем в 4 раза превышает аналогичный показатель для фонового района. Это связано с тем, что антропогенное воздействие снижает скорость биохимических процессов и в условиях сильного загрязнения тормозит или полностью прекращает процесс деструкции органического вещества в подстилке. Кроме того, изменяется фракционный состав подстилки, в непосредственной близости от комбината в ее составе отсутствуют следы живого напочвенного покрова.

Однако даже высокие валовые содержания тяжелых металлов в почвах не всегда указывают на потенциальную эколого-токсикологическую опасность техногенного загрязнения. В серых лесных почвах обменные, наиболее экологически опасные формы Cu и Pb за счет связи с фракцией тонкодисперсных гидроксидов Fe и Mn составляют 2-4% от валовых содержаний, а основную опасность представляют обменные формы Zn и Cd, доля которых составляет от 7 до 28% [9]. Однако при таких высоких содержаниях все эти элементы являются потенциально опасными.

Поверхностные воды в зоне деятельности комбината значительно отличаются от природных, и хотя подстилающие породы региона обладают относительно высоким кислотно-нейтрализующим потенциалом, химический состав вод отражает характер техногенного загрязнения.

Государственный контроль за качеством поверхностных вод в районе г. Карабаша в середине 90-х гг. осуществлялся Челябинским ЦГМС путем систематических наблюдений в створах: р. Сак-Элга (устье); р. Аткус (устье); Аргазинское водохранилище (верхний бьеф). В настоящее время наблюдения ведутся только в створе верхнего бьефа Аргазинского водохранилища.

Наименее загрязненным является оз. Серебры, которое подвергается только аэротехногенному воздействию КМК. Здесь превышены лишь рыбохозяйствен-

ные нормативы по воде для Zn, Mn и Cu, однако содержание Cd, Pb, Zn, Cu и Hg в верхнем слое донных отложений в сотни раз превышает уровень фона.

Воды Карабашского и Богородского прудов характеризуются нейтральной средой и высокой минерализацией, содержат высокие концентрации сульфатов и тяжелых металлов — Zn, Mn, Cd и Ni, что характерно для сточных вод горно-металлургических комплексов. Донные отложения Карабашского пруда также содержат Pb, Ni, Cu, Cd и As в экстремально высоких количествах. К сожалению, Челябинский ЦГМС с 2006 г. перестал проводить регулярные наблюдения на Карабашском и Богородском прудах. Результаты наблюдений за 2002-2005 гг. представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Оценка степени химического загрязнения поверхностных вод  
в зоне действия Карабашского медеплавильного комбината, мг/л**

	оз. Серебры	Карабашский пруд*		Богородский пруд*		р. Сак-Элга*		р. Миасс	ПДК [10]
	2010	2002	2005	2002	2005	2002	2006		
pH	6,5	7,59	7,41	7,55	7,2	5,88	5,90		
Сульфаты		139,7	173	51,9	90,3	318	327		100
As	0,015							0,0034	0,05
Cd	0,0002		0,044		0,004		0,008	0,004	0,005
Cu	0,012	0,018	0,234	0,006	0,049	2,94	0,62	0,026	0,001
Fe <sub>общ</sub>	0,163	0,41	0,44	0,20	0,21	1,56	1,69	0,24	0,1
Mn	0,135	0,94	1,049	0,092	0,212	4,07	2,70	0,083	0,01
Ni	0,002	0,054	0,069	0,019	0,018	0,16	0,18	0,013	0,01
Pb	0,012		0,064		0,012		0,013	0,012	0,006
Zn	0,111	8,87	8,311	0,182	0,723	37,28	5,20	0,071	0,01

\* — среднегодовые значения по данным Челябинского ЦГМС

Основными источниками загрязнения р. Сак-Элга, впадающей в р. Миасс, являются Рыжий ручей и пиритовые отложения в речной пойме. Воды Рыжего ручья, образующегося на рудничном дворе комбината из смывных вод обогатительной фабрики и ручьев со склонов Золотой горы, щелочные в верховьях, по мере прохождения по хвостам закисляются до pH 2-3,5 и при впадении в Сак-Элгу содержат большие количества сульфат-иона, железа, меди, цинка и других элементов. Вся пойма Сак-Элги до впадения в Миасс заполнена пиритными отложениями, образовавшими в устьевой части мертвый массив площадью более 100 га, лишена почвенного покрова и является источником вторичного загрязнения. Таким образом, р. Сак-Элга является приемником почти всех загрязнений КМК, заброшенных шахт, промышленных и хозяйственных сточных вод г. Карабаша. В настоящее время регулярные наблюдения за р. Сак-Элга не проводятся.

Резкое сокращение регулярных наблюдений, к сожалению, не позволяет реально оценить изменение состояния поверхностных вод. Тем не менее продолжающиеся наблюдения в верхнем бьефе Аргазинского водохранилища показали увеличение в 2010-2011 гг. количества случаев многократного превышения ПДК по меди, цинку и марганцу. Основным источником загрязнений этой части водохранилища является р. Миасс, вбирающая в себя воды р. Сак-Элга за 3 км до впадения в водохранилище. Наши данные, полученные для проб воды, отобранных из р. Миасс, подтвердили это (табл. 2).

Таким образом, оценка состояния окружающей среды в зоне действия медеплавильного комбината после его существенной модернизации показала, что атмосферные выбросы все еще остаются достаточно высокими, а восстановление почвенного покрова и растительности, наметившееся за время остановки комбината (1990-1998 гг.), замедлилось. Степень загрязнения почв, донных отложений и поверхностных вод также остается чрезвычайно высокой.

Вместе с тем территория Карабашской геотехногенной аномалии представляет собой природно-техногенный полигон, который позволяет изучать деградацию и восстановление окружающей среды в условиях изменения техногенной нагрузки.

Для более полного представления о меняющейся ситуации необходимо проведение обширного экогеохимического обследования района, осуществление непрерывного мониторинга воздушной среды и постоянного контроля за состоянием водных источников на территории г. Карабаш.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годовой обзор состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Карабаш по данным маршрутных наблюдений на 3 контрольных постах. Челябинский ЦГМС. Челябинск, 2003. 16 с.
2. Качество атмосферного воздуха в г. Карабаш в 2006 и 2007 гг. URL: <http://www.chelrogoda.ru/pages/421.php>
3. Организация регулярных наблюдений за химическим загрязнением воздуха на территории населенных пунктов, где нет государственной сети наблюдения: Карабашского и Верхнеуфалейского городских округов, Саткинского городского поселения в 2011 г. URL: <http://mineco174.ru/okhrana-okruzhajushhejj-sredy/sostojanie-okruzhajushhejj-sredy/1047>
4. Niemi, D. Emissions of Pollutants Related to Acid Deposition in North America // Chapter 2 in 2004. Canadian Acid Deposition Science Assessment, Environ. Canada, Downsview, 2005. P. 5-14.
5. Нестеренко В.С. Городские ассоциации элементов-загрязнителей окружающей среды в г. Карабаш Челябинской области как отражение рудно-химических характеристик минерального сырья // Изв. Челябинского научного центра, 2006. Вып. 3. С. 58-62.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия: Утв. Минприроды РФ 30.11.1992 г.
7. Гигиенические нормативы «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». ГН 2.1.7.2041-06.
8. Гигиенические нормативы «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». ГН 2.1.7. 2511 — 09.
9. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. Томск, 2012. 44 с.
10. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения от 18.01.2010.