

УДК 550.84:550.461(571.1)

## ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ВОД ЗОНЫ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА ЮГА КУЗБАССА

М.П. Андреева, Е.В. Домрочева\*

Томский политехнический университет

\*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН

E-mail: omp2004@mail.ru

*Рассмотрено загрязнение поверхностных и подземных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса. По материалам пяти лет исследований проведена оценка уровня современного состояния природных вод. Определено соответствие исследуемых вод ПДК. Выявлены основные загрязнители природных вод.*

### Введение

Из всех известных направлений общественного производства наиболее существенное техногенное влияние на окружающую среду отмечается в области горнодобывающей промышленности. На сегодняшний день четко прослеживается тенденция одновременной отработки большой группы близко расположенных друг к другу рудных месторождений, угольных месторождений в бассейнах, имеющих сложные природные условия. Зачастую все структурные подразделения, входящие в состав горнорудного предприятия (горный цех, отвалы пустых пород и окисленных руд, обогатительные фабрики, хранилища промстоков, металлургические и химические заводы, водозаборные сооружения), располагаются компактно на сравнительно небольшой площади, что приводит к весьма существенной и сконцентрированной техногенной нагрузке на окружающую среду.

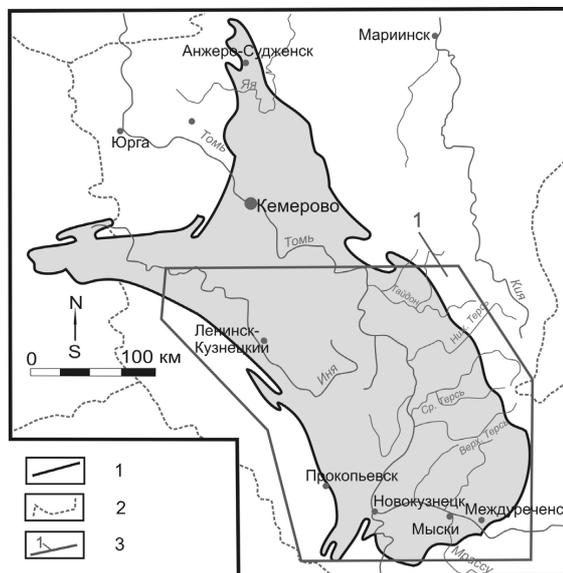
По своей совокупности перечисленные выше особенности развития горнорудной и перерабатывающей промышленности определили весьма существенное и длительное техногенное воздействие на изменение состояния и свойств геологической и часто окружающей среды не только на локальных участках отдельных месторождений, но и в региональном плане, охватывая при этом большие площади техногенного воздействия. На территории юга Кузбасса сосредоточено большое количество предприятий горнорудной и перерабатывающей промышленности, расположены наиболее крупные города и поселки области. Скопления большого числа водопотребителей и водопользователей на небольшой территории не могло не сказаться на качестве природных вод. В связи с этим, целью наших исследований было определение современного эколого-геохимического состояния природных вод зоны активного водообмена исследуемого района (рисунок).

### Методика исследований

В исследовании использованы материалы, полученные авторами при работе в Верхнеобском гидрогеологическом экспедиционном отряде при ТФ ИНГГ СО РАН под руководством С.Л. Шварцева, проводимые в период с 2001 по 2006 гг., и сведения, приведенные в литературных источниках [1–3].

Исследования проходили в несколько этапов. Первый – полевые работы, основной задачей которых являлось качественный отбор проб воды с участков различной степени антропогенной нагрузки и глубины. Полевой химический анализ включал в себя определение таких быстроизменяющихся показателей, как температуры, рН, концентраций  $Fe_{общ}$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4$ , и выполнялся непосредственно на точке отбора. Кроме этого производился отбор проб для последующего их изучения в стационарных лабораториях.

Второй этап исследований заключался в химическом анализе отобранных проб. Основные макро- и микрокомпоненты исследовались в аккредитованной проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории и ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета.



**Рисунок.** Расположение района работ: 1) граница Кузнецкого угольного бассейна, 2) административная граница, 3) район исследований

Третий этап работ состоял в аналитической и статистической обработке полученных материалов. Все результаты были направлены на решения следующих задач: характеристика особенностей вод зоны активного водообмена района, определение современного эколого-геохимического состояния

природных вод по широкому комплексу элементов, определение соответствия исследуемых вод установленным экологическим нормативам.

### Результаты и их обсуждение

Зона активного водообмена на юге Кузбасса занимает верхнюю часть разреза, сложенную рыхлыми мезо-кайнозойскими (преимущественно четвертичными) отложениями, и зону интенсивной трещиноватости коренных пород кольчугинской серии.

Мощность зоны активного водообмена в южной части Кузбасса колеблется от 30 до 450 м. Наибольшего значения мощность зоны достигает на водоразделах, представленных высокопроницаемыми отложениями, а наименьшая – в долинах рек. На большей части юга Кузбасса мощность зоны активного водообмена составляет 80...150 м [4].

Для поверхностных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса характерно развитие  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  типа вод. Речные воды пресные, преимущественно нейтральные или слабощелочные. Средние значения общей минерализации составляют 0,15...0,25 г/л, рН – 7,7. В отдельных пробах речных вод имеются достаточно высокие содержания суммы анионов и катионов, которые достигают 0,96 г/л при значении рН 9,4. Данные воды относятся не к типичным поверхностным водам, а к водам техногенно измененным. Установлены такие содержания в притоках р. Томи в районе г. Новокузнецка и ниже его по течению реки.

Для подземных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса характерно развитие  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ ,  $\text{Ca-Na}$  и  $\text{Na-Ca}$  типов вод. Это повсеместно пресные воды с минерализацией до 0,4...0,6, реже 0,9 г/л, чаще слабощелочные со средним значением рН для рассматриваемых районов 7,5...8,0. С глубиной происходит увеличение общей минерализации и рН. Воды постепенно переходят в гидрокарбонатные натриевые (содовые).

Прослеживается изменение химического состава вод зоны активного водообмена исследуемого района и в региональном плане. Оно заключается в увеличение минерализации от 0,2...0,3 до 0,6 г/л с востока (от Кузнецкого Алатау) на запад, т. е. в сторону уменьшения отметок рельефа. Подобная зависимость наблюдается и для значений рН [1].

Одной из целей наших исследований является определение современного экологического состояния и качества вод зоны активного водообмена исследуемого района. Критериями оценки качества является совокупность любых количественных показателей. Под критериями качества в соответствии с ГОСТ 17.1.1.01-77 нами понимается «характеристика состава и свойств воды, определяющая пригодность ее для различных видов водопользования». В качестве количественной оценки современного эколого-геохимического состояния водных объектов исследуемого региона нами используются предельно допустимые концентрации (ПДК) химических элементов.

Характеристика вод зоны активного водообмена юга Кузбасса проведена нами по 110 пробам подземных вод и по 102 пробам поверхностных вод, из них 91 – речных и 12 – озерных. Подземные воды отбирались с глубин в интервале от 30 до 500 м. Большая часть подземных вод опробована с глубины 40...140 м из скважин, предназначенных для хозяйственно-питьевого использования; скважин, расположенных на различных промышленных площадках или территориях угольных разрезов. Речные воды представлены водами р. Томи, Иня и их притоками. Среди озерных вод выделяются природные и техногенные.

Собранные результаты были разбиты по следующему принципу: воды, в которых установлены элементы по содержаниям, не отвечающим нормативным требованиям (превышающие ПДК), отнесены к «загрязненным» водам, и воды, в которых все элементы находятся в концентрациях, удовлетворяющих нормативным документам – к «чистым» водам. Усредненный химический анализ обоих групп представлен в табл. 1 и 2.

Воды, отнесенные нами в группу «чистых», являются характерными водами зоны активного водообмена. Сумма анионов и катионов в них колеблется в пределах от 0,11 до 0,89 г/л. Значения рН – от 7,0 до 7,7. Наиболее пресными являются речные воды и подземные воды неглубоких горизонтов. С глубиной содержание макрокомпонентов увеличивается, растет общая минерализация, что является закономерным процессом.

В группе чистых вод в больших содержаниях отмечены: в подземных – Si, Sr, Li, Pb, Hg; речных – Al, Cu и нефтепродукты; в озерных – Zn и Cd.

Воды, отнесенные в группу «загрязненных», по своему составу не однородны. Минерализация в них изменяется от 0,12 до 0,9 г/л в речных и от 0,13 до 2,9 г/л в подземных водах. Величина рН в поверхностных водах колеблется от 7,2 до 9,9, а в подземных – 6,2...8,2. Случаи, когда содержания макрокомпонентов обнаружены в величинах, превышающих ПДК, в водах исследуемого района в зоне активного водообмена, почти всегда обусловлены воздействием техногенных источников.

Биогенные элементы в повышенных содержаниях наиболее часто встречаются в водах, где имеются и другие вещества в концентрациях выше ПДК. Можно отметить, что для поверхностных вод юга Кузбасса характерно систематическое обнаружение Fe,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  в содержаниях превышающих ПДК, причем содержания Fe практически – в большинстве из исследуемых вод зоны активного водообмена. В среднем содержание  $\text{Fe}_{\text{общ}}$  составляет в поверхностных водах 0,9 мг/л, а в подземных 2,06 мг/л. Установлены случаи повышенного содержания  $\text{NO}_3^-$  в ряде неглубоких скважин. Причина этого, скорее всего, состоит в негерметичности скважин или слабой защищенности подземных вод на данном участке. Целесообразно заметить, что проблема нитратного загрязнения, характерная для речных вод многих регионов мира, для поверхност-

ных вод данного района не актуальна даже вблизи крупных городов [3].

**Таблица 1.** Характеристики чистых вод зоны активного водообмена

Показатели	Подземные воды			Поверхностные воды					
				Речные			Озерные		
	мин.	макс.	сред.	мин.	макс.	сред.	мин.	макс.	сред.
pH	6,80	7,9	7,38	6,0	8,5	7,7	7,7	7,7	7,7
Общая мин.	114	892	611,41	128	292,5	154,86	240,5	556,9	384,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	55,0	683	423,13	18,3	683,2	148,88	183,0	414,8	210,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,09	232	29,32	0,01	39,50	6,75	0,90	11,00	5,95
Cl <sup>-</sup>	1,10	86,6	18,29	0,17	39,05	6,62	1,10	1,40	1,25
Ca <sup>2+</sup>	20,0	158	84,56	4,00	112,0	30,51	40,0	90,0	56,0
Mg <sup>2+</sup>	2,40	52,5	17,71	0,20	17,08	5,44	9,76	24,4	18,9
Na <sup>+</sup>	3,9	110	46,43	1,00	70,0	9,76	5,00	15,0	11,1
K <sup>+</sup>	0,50	5,60	1,81	0,10	6,30	1,04	0,40	3,10	1,40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,01	1,00	0,25	0,01	0,10	0,076	0,049	0,30	0,19
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,90	28,8	7,08	0,067	14,43	3,90	0,59	0,64	0,58
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	0,05	0,015	0,008	0,08	0,03	0,0029	0,017	0,003
Fe <sub>общ</sub>	0,05	0,30	0,27	0,068	0,29	0,27	-	-	-
Si	3,84	9,20	7,05	2,00	5,30	3,35	0,28	4,40	2,46
Al	0,02	0,40	0,14	0,065	0,50	0,29	0,05	0,27	0,19
Sr	0,28	2,50	1,20	0,10	1,70	0,40	0,20	0,70	0,31
Li	1,30	27,0	17,7	1,00	18,5	5,30	8,00	12,0	9,56
Cu	0,10	3,50	1,12	0,20	30,0	2,80	1,07	2,65	1,14
Zn	1,0	90,0	15,35	0,10	71,0	18,12	15,5	123,5	45,7
Pb	0,10	6,40	1,74	0,10	3,80	0,65	0,46	2,30	1,38
Cd	0,01	0,40	0,09	0,10	0,22	0,11	0,053	0,42	0,25
Hg	0,009	0,45	0,18	0,01	0,44	0,13	-	-	-
F	0,11	1,40	0,43	0,006	0,64	0,17	0,21	0,25	0,17
Фенолы	0,11	0,31	0,24	-	-	-	-	-	-
ПО	0,06	3,09	1,26	0,90	4,40	1,92	3,76	7,60	6,20
ХПК	0,70	9,00	5,17	0,65	12,3	6,47	0,70	3,52	2,42
НП	-	-	-	0,026	0,091	0,058	-	-	-
Число проб	45			57			3		

ПО – перманганатная окисляемость, ХПК – химическое поглощение кислорода, НП – нефтепродукты

Вследствие активного развития добывающей и перерабатывающей промышленности в исследуемом районе можно ожидать повышенное содержание ряда микрокомпонентов. В речных водах имеется превышение ПДК по Al, Hg, Li, Cd. Обнаружены указанные элементы в высоких содержаниях в р. Томь на участке между г. Междуреченском и г. Кемерово, в р. Кондома (у г. Новокузнецка), р. Ускат, р. Кыргай. Максимальное содержание Al достигает 0,95 м/л, Hg 3,94 мкг/л, Li 100 мкг/л, а Cd 9,69 мкг/л. В озерах, расположенных на территории Ерунаковского района, установлено содержание Hg, достигающее 8,08 мкг/л. В районе г. Новокузнецка в нескольких скважинах концентрация Al составляет 0,93 м/л.

В подземных водах большинство определяемых микроэлементов и тяжелых металлов присутствуют в содержаниях больших, чем в поверхностных.

**Таблица 2.** Характеристики загрязненных вод зоны активного водообмена

Показатели	Подземные воды			Поверхностные воды					
				Речные			Озерные		
	мин.	макс.	сред.	мин.	макс.	сред.	мин.	макс.	сред.
pH	6,2	8,8	7,38	7,2	9,4	8,2	7,7	9,9	8,4
Общая мин.	129,2	2916	843,9	126,0	920,0	379,3	208,3	920,0	478,5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61,0	1830,0	624,34	28,0	573,4	245,23	140,3	525	305,21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,90	767,0	137,32	0,01	86,5	18,01	0,90	188	54,61
Cl <sup>-</sup>	1,42	139,0	36,46	2,1	929,0	45,84	1,10	26,3	7,82
Ca <sup>2+</sup>	2,40	220,0	72,58	2,4	102,0	53,75	33,0	94,0	70,17
Mg <sup>2+</sup>	1,20	73,20	22,93	2,4	85,4	16,17	5,40	85,4	26,90
Na <sup>+</sup>	8,00	934,0	186,87	0,5	225,0	31,08	5,00	128,0	33,92
K <sup>+</sup>	0,30	98,0	7,74	0,2	366,0	18,89	0,40	65,0	11,17
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,01	10,10	1,09	0,01	0,87	0,18	0,049	0,30	0,15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,35	122,8	29,38	0,003	11,36	1,90	0,01	6,72	1,25
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	6,23	0,37	0,004	10,34	1,00	0,0029	8,80	3,73
Fe <sub>общ</sub>	0,12	12,0	2,06	0,09	2,70	0,91	0,50	1,95	0,93
Si	2,70	10,2	6,38	2,0	5,98	3,44	0,28	5,75	3,37
Al	0,005	0,93	0,29	0,05	0,95	0,32	0,05	0,46	0,28
Sr	0,20	6,20	2,56	0,1	2,30	0,561	0,20	0,70	0,56
Li	1,60	100	38,0	0,002	100,0	8,60	2,00	19,0	12,2
Cu	0,50	16,4	2,52	0,1	8,41	1,62	1,07	6,04	3,22
Zn	1,56	200,0	24,27	0,1	40,0	7,70	1,93	123,5	34,45
Pb	0,10	11,2	1,83	0,1	9,69	1,58	0,46	5,20	3,09
Cd	0,026	0,30	0,129	0,027	7,20	0,60	0,04	0,42	0,15
Hg	0,012	3,55	0,69	0,01	3,94	0,42	0,06	1,90	0,80
F	0,109	190,0	16,15	0,11	18,10	1,66	0,21	350,0	5,69
Фенолы	0,40	184,0	11,13	1,4	12,20	4,06	3,04	9,70	6,37
ПО	0,70	31,40	10,79	-	-	-	3,52	17,5	11,9
ХПК	0,108	1,98	0,39	0,08	0,34	0,21	0,45	0,45	0,45
НП	0,23	0,54	0,29	0,05	0,29	0,23	-	-	-
Число проб	6,2			7,2			7,7		

Обнаруженные превышения норм по ряду микроэлементов свидетельствует об антропогенной нагрузке на водные объекты, причем на локальных участках это воздействие уже сейчас приводит к необратимым изменениям [3].

Отдельно хочется обратить внимание на установленные высокие содержания F в исследуемых водах. В ряде проб речных вод концентрации F составляют 10...18 мкг/л (р. Казачка, г. Новокузнецк). В озерах рядом с алюминиевым заводом г. Новокузнецка концентрация F достигает 350 мкг/л. Обнаружено загрязнение F подземных вод на отмеченном участке – 190 мкг/л. Общая минерализация этих вод достигает 2,9 г/л. Подробнее состояние и особенности вод этой территории описано в работе [2]. Выявленные содержания фтора являются наибольшими для данного района.

Нефтепродукты – органическая микропримесь, характеризующая состояние стоков с территорий городов. Иногда нефтепродукты поступают в воды в результате неправильной эксплуатации АЗС и хранилищ различного рода. Содержание нефтепродуктов в опробованных нами чистых водах составляет 0,026...0,091 мкг/л, в загрязненных 0,05...0,54 мкг/л. В

большинстве проб, где определялось содержание нефтепродуктов, их концентрация превышает нормативную (всего содержание НП определялось в 19 пробах). Достаточно неожиданным явился и тот факт, что в подземных водах, где определялись содержания нефтепродуктов, они установлены в содержаниях больших, чем в поверхностных.

Фенолы в поверхностных водах содержатся в концентрациях от 1,4 до 12,1 мкг/л, в подземных – от 0,4 до 184 мкг/л. Это значительно ниже нормативных значений.

При оценке антропогенного влияния на водные объекты необходимо помнить о том, что некоторые элементы в естественном состоянии могут находиться в концентрациях, очень близких к ПДК, или даже их превышать [5]. В таких случаях загрязнение имеет не техногенный, а природный характер.

На территории исследуемого района содержания  $Fe_{\text{общ}}$  в природных водах достаточно часто встречается в концентрациях, превышающих ПДК, но в данном случае речь идет не о техногенных изменениях, а о природных геохимических процессах. Содержания F и Li имеют как природное, так и техногенное происхождение. В водах, где минерализация не превышает 0,7 г/л, указанные элементы содержатся в природных значениях, свойственных донным гидрогеохимическим условиям. В водах с меньшей минерализацией и наибольшими концентрациями этих элементов они явно имеют техногенное происхождение. Cd, Hg, нефтепродукты и некоторые другие гидрохимические показатели, установленные в водах данной зоны, являются признаком техногенного воздействия на водные объекты.

Если сравнивать количественные соотношения содержаний определяемых элементов в поверхностных и подземных водах, можно отметить, что большая часть определяемых гидрогеохимических элементов в подземных водах обнаружена в больших концентрациях. В поверхностных водах в больших значениях установлены Cd, Hg и Al.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Домрочева Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов юга Кузбасса: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. – Томск, 2005. – 22 с.
2. Людвиг В.М. Техногенное загрязнение фтором в районе Форштадта города Новокузнецка // Обской вестник. – 1999. – № 3–4. – С. 117–119.
3. Савичев О.Г. Реки Томской области: состояние, охрана и использование. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 202 с.
4. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Огнетова М.П. Мощность и состав подземных вод зоны активного водообмена юга Кузбасса // Матер. VI Сибирского совещ. по климатологическому мониторингу. – Томск, 2005. – С. 534–537.
5. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.

Поступила 30.11.2006 г.

#### Выводы

Природные воды зоны активного водообмена южной части Кузбасса по своему составу в основном  $HCO_3$ -Ca, Ca-Na, реже Na-Ca, ультрапресные или пресные (общая минерализация не превышает 0,9 г/л). С глубиной наблюдается увеличение содержаний макроэлементов и, как следствие, минерализации.

По макрокомпонентному составу признаки загрязнения выявлены только на небольшом участке, в районе г. Новокузнецка. В целом для территории содержание макрокомпонентов в поверхностных и подземных водах выше ПДК не характерно. В большей части случаев загрязнение природных вод отмечается только по содержанию металлов, биогенных компонентов и нефтепродуктов.

Установленные случаи превышений концентраций различных элементов относительно ПДК имеют как природное, так и техногенное происхождение. Обнаруженные содержания Fe, F, Li и большинства биогенных элементов в основном связаны с естественными процессами выветривания и почвообразования и носят природный характер. Концентрации Hg, ряда других элементов и нефтепродуктов явно имеют техногенное происхождение.

Признаки техногенного загрязнения установлены как в поверхностных, так и в подземных водах. Поверхностные воды в той или иной степени загрязнены различными компонентами практически повсеместно. Подземные воды загрязнены локально. Следует отметить, что содержания ряда явно техногенных элементов в подземных водах установлены в больших концентрациях, чем в поверхностных.

В плановом распределении содержаний основных загрязнителей отчетливо прослеживается, что воды зоны активного водообмена в южной части исследуемой территории загрязнены значительно больше, чем воды северной ее части. Наибольшие концентрации определяемых элементов установлены вблизи городов и основных производственных комплексов юга Кузбасса.