

УДК 502.2: 622

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

¹Двинских С.А., ²Почечун В.А., ³Рудакова Л.В.

¹Пермский государственный университет, Пермь;

²Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург;

³Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: hydrology@psu.ru

В работе рассмотрено функционирование природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса Среднего Урала. С точки зрения системного подхода функционирование представляет собой триаду взаимосвязанных частей: поступление вещества в систему (в горно-металлургическом комплексе это поступление загрязняющих веществ в результате выбросов, сбросов, отходов), миграция загрязняющих веществ в системе, изменение устойчивости системы. Загрязняющие вещества в результате выбросов, сбросов и промышленных отходов поступают в окружающую среду. Интенсивность такого техногенного поступления произведена с помощью оценки экологического состояния снежного покрова. Далее загрязняющие элементы интенсивно мигрируют из одних компонентов в другие, изменяя тем самым устойчивость всей системы. Оценка изменения устойчивости системы возможно произвести на основе оценки состояния биоты, а выявление механизма устойчивости на основании расчета биогеохимического баланса поступления элементов в систему и выноса их из системы. Расчет биогеохимического баланса показал, что наиболее интенсивно загрязняющие элементы накапливаются в биоте.

Ключевые слова: природно-техногенная система, горно-металлургический комплекс, функционирование, выбросы, сбросы, отходы, миграция загрязняющих веществ в системе, изменение устойчивости системы

FUNCTIONING OF NATURAL AND MAN-MADE SYSTEM OF MOUNTAIN-METALLURGICAL COMPLEX

¹Dvinskikh S.A., ²Pochechun V.A., ³Rudakova L.V.

¹Perm State University, Perm;

²Ural State Mining University, Associate Professor of ²Environmental Geoscience, Ekaterinburg;

³The Institute of Economics, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, e-mail: hydrology@psu.ru

In the paper we examine the functioning of natural and man-made system of the mining complex of the Middle Urals. From the point of view of the functioning of the systems approach is a triad of interrelated parts: flow of matter in the system (in the mining and metals sector is of pollutants from emissions, effluents, waste), the migration of contaminants in the system, change the system stability. Pollutants from emissions, effluents and industrial waste into the environment. The intensity of this man-made receipts produced by evaluating the ecological state of the snow cover. Then the contaminants rapidly migrate from one component to another, thereby changing the stability of the entire system. Assessment of the change of system stability may be made on assessment of the biota, and the identification of the mechanism of resistance based on the calculation of the biogeochemical balance items arrive in and remove them from the system. Biogeochemical balance calculation showed that the most heavily polluting elements accumulate in biota.

Keywords: natural and manmade systems, mining and metallurgy, operations, emissions, discharges, waste, migration of contaminants in the system, change the system stability.

Функционирование – это процесс, позволяющий выполнять системе функции, для которых она создана. Оно определяется потоками энергии, вещества и информации, баланс которых определяет ее единство и целостность путем самоорганизации [1], поэтому функционирование природно-техногенной системы представляет собой процесс, обусловленный постоянным поступлением загрязняющих элементов в систему в результате выбросов, сбросов и промышленных отходов, образующихся в результате деятельности предприятий горно-металлургического комплекса, миграции загрязняющих компонентов из одних элементов природно-техногенной системы в другие, и, как следствие, изменение устойчивости природно-техногенной системы (рис. 1).

Поступление загрязняющих веществ в природно-техногенную систему горно-металлургического комплекса происходит в виде воздействия пылевых выбросов, сбросов сточных вод и отходов производства в окружающую среду.

Интенсивность потоков загрязняющих веществ в окружающую среду зависит от объемов пылевого выброса и сброса сточных вод и концентрации в них металлов.

Рассеяние загрязняющих веществ в составе пылевых выбросов в горно-обогательном производстве происходит в результате следующих процессов:

1) ветровой эрозии открытых поверхностей горных выработок, отвалов и шламоохранилищ;

2) в процессе выполнения технологических операций: бурения, взрывания, выемки, погрузки, транспортировки, дробления.

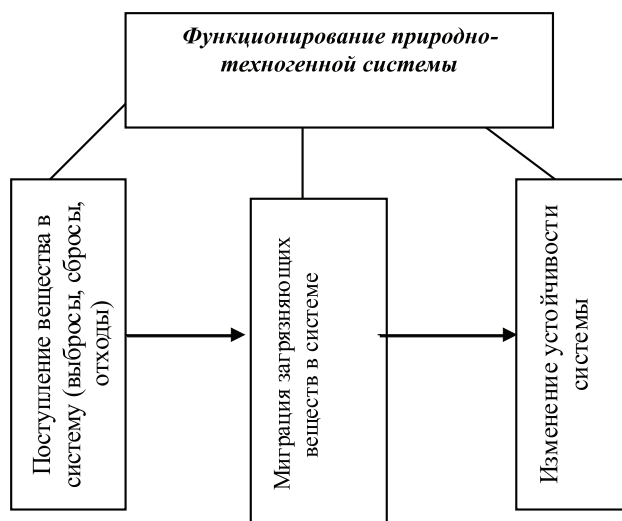


Рис. 1. Функционирование природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса

Рассеяние загрязняющих веществ в составе сточных вод горнодобывающего и обогащительного производств происходит в результате сбросов рудничных (шахтных и карьерных) вод и сточных вод обогащительных фабрик. Металлы в сточных водах этих производств находятся в растворённой и взвешенной формах, при этом доля нерастворённой части металлов в сбросах составляет 10–30%.

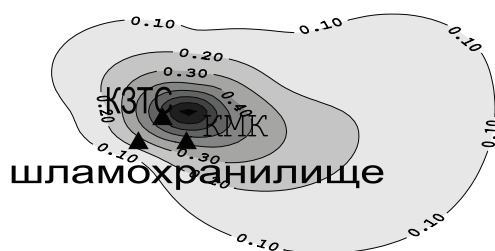
В природно-техногенной системе горно-металлургического комплекса наблюдается постоянное и интенсивное поступление тяжелых металлов в окружающую среду. Индикатором такого поступления может служить снежный покров, так как он характеризует среднесуточные или среднегодовые выпадения загрязняющих веществ на дневную поверхность в кг/км² под воздействием техногенеза.

Проведены исследования экологического состояния снежного покрова рай-

она Кировградского промузла Среднего Урала.

Оценка состояния снежного покрова Кировградского промузла проводилась по растворенной форме, отражающей возможность загрязнения вод, а также по содержанию элементов в пыли, поступающей на поверхность снежного покрова и характеризующей возможность загрязнения почв [2].

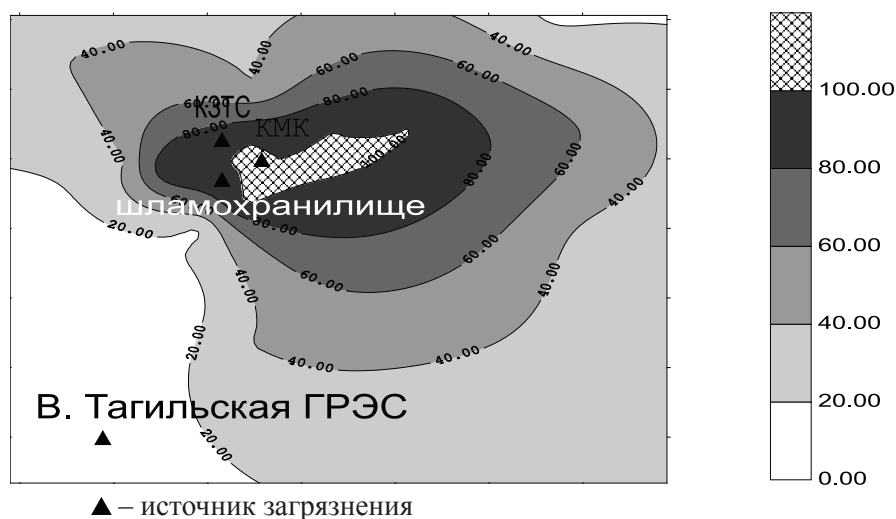
Медь. Концентрации меди в снеговой воде в растворенной форме достаточно высоки, максимум составляет 0,8 мг/дм³ (рис. 2) Ареал загрязнения вытянут по розе ветров в северо-восточном направлении и хорошо согласуется с основными источниками загрязнения. Максимальная концентрация меди в пыли более 100 мг/кг (рис. 3) На схеме отмечается ареал загрязнения, расположенный по всему промышленному узлу за исключением юго-запада. Местоположение ядер ареалов в растворенной форме и содержания меди в пыли совпадают.



В. Тагильская ГРЭС

▲ – источник загрязнения

Рис. 2. Схема содержания меди (растворенная форма) в снежном покрове Кировградского промузла (мг/дм³)



▲ – источник загрязнения

Рис. 3. Схема распределения меди в пыли, поступающей на снежный покров Кировградского промузла (мг/кг)

Таким образом, при формировании геохимического состояния снежного покрова большое значение имеет техногенез.

Загрязнение окружающей среды в природно-техногенной системе отражается на всех её компонентах, но далеко не в одинаковой степени. Почвенный горизонт принимает природную из почвообразующего слоя и техногенную нагрузку из атмосферы в виде рудной пыли, дымовых выбросов и прочих загрязнителей, разносимых ветром на большие расстояния. Затем со стоком ливневых и талых вод они попадают в поверхностные воды. Частично загрязняющие вещества через корневую систему поступают в растительность и по трофическим цепям в организмы животных и человека (рис. 4) [3].

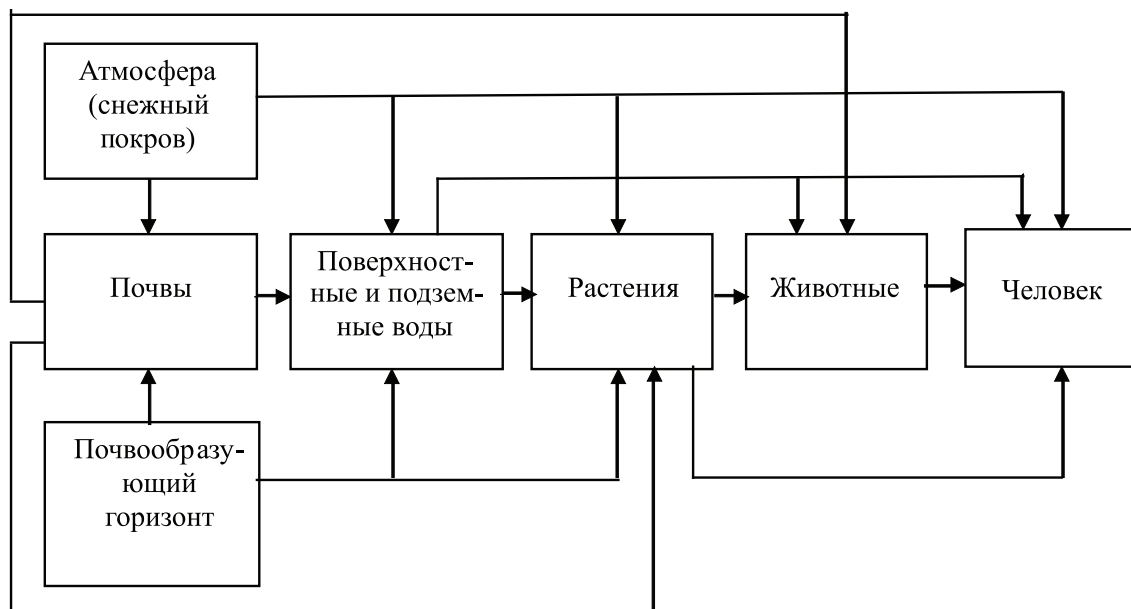


Рис. 4. Схема миграции загрязняющих веществ в природно-техногенной системе

При оценке экологического состояния окружающей среды важно установление миграционной подвижности (переходов) загрязняющих веществ по трофическим цепям от абиотических компонентов к смешанным и биотическим. Миграционная подвижность определяется степенью за-

висимости содержаний загрязняющих веществ в различных компонентах. Оценка такой взаимосвязи может быть выполнена вероятностно-статистическими методами корреляционно-регрессионного анализа [3].

Оценка взаимосвязи загрязняющих веществ и различных компонентов окружа-

ющей среды была произведена на примере водосборной территории, находящейся под воздействием меднорудной промышленности.

По меди выявлены высокие значения коэффициентов корреляции содержания ее в атмосферном воздухе и поверхностных

водах р. Чусовой (после выпуска сточных вод). Это указывает на то, что на экологическое состояние поверхностных вод оказывают влияние как стоки предприятия, так и концентрации загрязняющих веществ в воздухе (рис. 4).

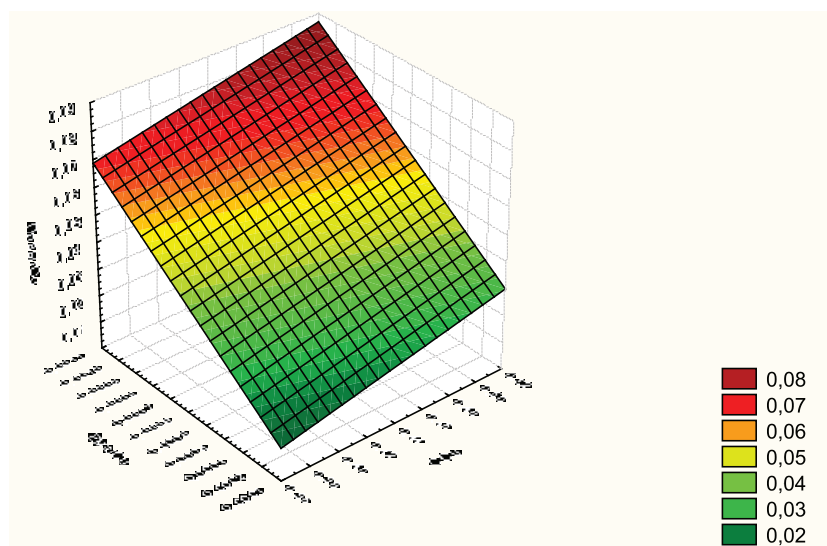


Рис. 5. Диаграмма зависимости содержания меди в поверхностных водах от её содержания в стоках предприятия и атмосферном воздухе

По свинцу прослежен полный цикл миграции от его экзогенного привноса в окружающую среду до поступления в почвы, растения и живые организмы.

Изменение устойчивости природно-техногенной системы можно проследить по состоянию биоты, которое является наиболее информативным показателем устойчивости. В работе проведена оценка состояния

мелких млекопитающих в районе воздействия меднорудной промышленности Среднего Урала

Традиционно для мелких млекопитающих наиболее важными и показательными, отражающими изменения качества среды обитания, являются отдельные характеристики ценотического, популяционного и организменного уровня (табл. 1).

Таблица 1

Основные индикационные показатели, традиционно используемые для характеристики техногенной трансформации экосистем, применительно к группе мелких млекопитающих

Анализируемые характеристики			
Ценотические	Популяционные	Организменные	Аналитические
Список видов	Соотношение полов	«Индекс состояния»	Уровни накопления приоритетных поллютантов в органах-депо (печень, почки, костная ткань) и содержанием желудка
Видовое разнообразие	Возрастная структура	Экстерьерные признаки	
Долевое участие видов в сообществе	Показатели репродукции	Абсолютные и относительные размеры органов (печень, почки, сердце, тимус, надпочечники)	
Показатели обилия	Миграционная активность особей		

Изучение биотической составляющей системы горно-металлургического комплекса, в качестве показателей ее устойчивости, показало, что при сравнении трех зон — импактной, буферной и фоновой — выявлены следующие особенности:

1. Импактная территория характеризуется малым видовым разнообразием, малой

численностью, угнетенным состоянием живых организмов, находящихся в физиологической напряженности, повышенным содержанием в них загрязняющих элементов.

2. Буферная зона является переходной между фоновой и импактной территориями. Здесь наблюдается увеличение видового разнообразия, численности, а также умень-

шение концентрации загрязняющих компонентов в органах живых организмов, однако по мере приближения к импактной зоне данная тенденция уменьшается.

3. Фоновая территория характеризуется большим разнообразием и обилием видов за

весь период наблюдений, физиологическая активность уменьшается, что говорит о том, что организмы животных находятся не в стрессовом состоянии, по интерьерным показателям также наблюдается значительное снижение концентрации загрязняющих веществ.

Таблица 2

Средние значения интерьерных признаков и их органометрических индексов у половозрелых особей рыжей полевки, отловленных в окрестностях «СУМЗ» (Т) и на фоновой территории (Ф)

Изученный показатель	Самцы			Самки		
	Ф	Т	*	Ф	Т	*
<i>Весовые показатели (в мг):</i>						
Сердца	107,9	109,8		105,8	115,8	***
Селезенки	79,6	57,9	*	58,8	48,2	**
Тимуса	58,6	53,1		70,1	59,3	*
<i>Органометрические индексы (в промилле):</i>						
Сердца	6,36	6,68	**	6,43	6,87	***
Печени	64,86	63,01		64,73	65,63	
Селезенки	4,69	3,42	*	3,52	2,86	
Тимуса	3,53	3,23		3,35	1,38	

Примечание. *Уровни статистической значимости различий между средними значениями признаков особей по t-критерию Стьюдента: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Учитывая приведенные данные, можно утверждать, что устойчивость биотической составляющей по мере приближения к источнику загрязнения нарушается. Но можно ли утверждать, что в связи с этим уменьшается устойчивость и всей изучаемой системы? Для ответа на этот вопрос рассчитан биогеохимический баланс, исходя из того, что если приходная и расходная часть загрязняющих элементов в систему и из системы равны, то

аккумуляция загрязняющих веществ в системе не наблюдается и устойчивость сохраняется. В случае если приходная часть больше расходной, наблюдается аккумуляция загрязняющих веществ, в противном случае (приход меньше расхода) преобладает вынос, и в том и другом случае наблюдается деградация системы.

Изучение биогеохимического баланса проведено для предприятий меднорудной и железорудной промышленности (табл. 3).

Таблица 3

Среднегодовой биогеохимический баланс территории Кировградского промузла

Приходная часть				Расходная часть											
Элементы	Выбросы в атм.	Сбросы	Отвалы	Компоненты природной среды											
				Снежный покров	%	Почвы	%	Почв. обр. гориз.	%	Растения	%	Насекомые	%	сумма Σ , т/год	
Ni	1,52	-	-												
Cu	14,9	4,4	176407	1174,13	0,67	2659,75	1,51	1840,41	1,04	3912,3	2,22	93235,46	52,85	102827,49	
Zn	61,46	4,55	639198	1859,84	2,94	2715,08	0,43	1428,68	0,22	45321,8	7,09	96730,39	15,13	148066,42	
As	108,3	0,03	-			152,36	141	83,17	76,77	3963,6	3658,9			8075,44	
Cd	2,41	-	1480,7			27,45	1,85	21,84	1,48	456,39	30,77			539,78	
Pb	58,11	-	136279	1081,96	0,79	803,52	0,59	216,32	0,16	1909,01	1,4	2388,761	1,75	5319,76425	

Таблица 4

Среднегодовой биогеохимический баланс территории Красноуральского промузела

Приходная часть			Расходная часть								
Элементы	Выбросы в атм.	Сбросы	Отвалы	Компоненты природной среды							
				Снежный покров	%	Почвы	%	Растения	%	сумма Σ, т/год	
Ni	1,9		151646								
Cu	419,3	0,21	267891	3994,43	1,49	167,96	0,06	96,34	0,04	4260,28	
Zn	720	0,23	642123	3002,89	0,47	324,82	0,05	588,19	0,09	3916,42	
As	258	0,09				30,8647	11,96	0,089	0,03	42,9437	
Cd	13,94	0,01	13908	40,49	0,29			2,76	0,02	43,54	
Pb	139,7	0,0007	45437	2929,844	6,43	31,12	0,07	22,84	0,05	2990,304	

Таблица 5

Среднегодовой биогеохимический баланс территории Первоуральско-Ревдинского промузела

Приходная часть			Расходная часть								
Элементы	Выбросы в атм.	Сбросы	Компоненты природной среды								
			Снежный покров	%	Почвы	%	Растения	%	под.вода	%	сумма Σ, т/год
Cu	120,1006	0,38	820,93	681,38	349,12	289,77	5555,25	4610,91	0,35	0,29	12307,71
Zn	418,3582	0,72	669,96	159,87	366,036	87,34	75262,5	179,59	0,41	0,1	76725,706
As	51,2395	0,03	102,11	199,16					0,0082	1,6	301,2782
Cd	6,171		140,675	2279,61							2420,285
Pb	253,9316		768,46	302,62	280,944	110,64	12144,4	47,83			13654,854

Анализ таблиц показывает, что при воздействии ГПК на окружающую среду, наибольшая часть загрязняющих веществ депонируется в растительности и живых организмах, где процент их накопления в несколько десятков выше, чем в почве и снежном покрове. Под воздействием шлаковых отвалов наибольший процент загрязняющих веществ накапливается в гумусовом горизонте почвы.

Таким образом, **функционирование** природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса представляет собой процесс, состоящий из трех взаимосвязанных частей:

1. **Постоянное и интенсивное поступление** загрязняющих веществ в природно-техногенную систему происходит в результате выбросов, сбросов и образования отходов от предприятий горно-металлурги-

ческого комплекса. В результате постоянного и интенсивного поступления загрязняющих веществ происходит накопление их в компонентах окружающей среды. Индикатором такого накопления может служить снежный покров, характеризующий степень воздействия техногенных элементов на окружающую среду. Снежный покров характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ от техногенного воздействия.

2. **Миграция загрязняющих веществ в системе**, анализ которой показал на высокую миграционную способность всех загрязняющих элементов в системе. Степень зависимости содержания загрязняющих элементов в компонентах окружающей среды указывает на высокую миграционную подвижность загрязняющих элементов, начиная с их техногенного поступления

в абиотические компоненты, а затем в смешанные и биотические.

3. Изменение устойчивости природно-техногенной системы происходит за счет постоянного и интенсивного поступления загрязняющих веществ в систему, а также миграции загрязняющих элементов внутри системы. Одним из наиболее информативных показателей устойчивости природно-техногенной системы является состояние биоты. Проведена оценка состояния мелких млекопитающих в районе воздействия меднорудной промышленности, которая показала, что по мере приближения к источнику эмиссии происходит деградация живых организмов по всем биологическим показателям: ценотический уровень, популяционный уровень, организменный уровень.

Выявлен механизм устойчивости природно-техногенной системы с помощью биогеохимического баланса, на основании которого можно сделать вывод, что наряду с постоянным и интенсивным привнесением загрязняющих веществ в систему действуют и механизмы выноса данных веществ из системы. Биогеохимический баланс показал, что наибольшая часть загрязняющих веществ депонируется в растительности и живых организмах, в меньшей степени – в почвах, из остальных же компонентов окружающей среды (снежный покров, подземные и поверхностные воды) происходит интенсивный вынос загрязняющих веществ в соседние системы.

Список литературы

1. Двинских С.А., Бельтюков Г.В. Возможности использования системного подхода в изучении географических пространственно-временных образований. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. – 245 с.
2. Семячков А.И. Металлы в окружающей среде горно-металлургических комплексов Урала: науч-

ное издание. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. – 320 с.

3. Семячков А.И., Почечун В.А., Советкин В.Л. Теория, методика и практика геоэкологической оценки окружающей среды горно-металлургических комплексов: учебное пособие / под ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2006. – 78 с.

4. Семячков А.И., Фоминых А.А., Почечун В.А. Мониторинг и защита окружающей среды железорудных горно-металлургических комплексов / под ред. О.А. Романовой. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. – 243 с.

5. Теория и практика ведения локального экологического мониторинга окружающей среды меднорудных горно-металлургических комплексов / А.И. Семячков, Л.П. Парфёнова, В.А. Почечун, О.А. Копёнкина / под ред. А.И. Семячкова. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2008. – 224 с.

References

1. Dvinskih S.A., Belyukov G.V. The possibility of using a systematic approach to the study of geographical spatio-temporal structures. Irkutsk: of Irkut. University Press, 1992. 245 p.
2. Semyachkov A.I. Metals in the environment of mining complexes of the Urals. Research publication. Yekaterinburg: Izd UGGGA, 2001. 320.
3. Semyachkov A.I., Pochechun V.A., Sovetkin V.L. Theory, methodology and practice of geo-ecological environment assessment of mining complexes: A manual / Ed. G. Yaroshenko. Yekaterinburg: Izd USMU, 2006. 78 p.
4. Semyachkov A.I. Fomin A.A., Pochechun V.A. Monitoring and Environmental iron ore mining complexes / Ed. O.A. Romanova. Ekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of RAS, 2008. 243 p.
5. Semyachkov A.I., Parfenov L.P., Pochechun V.A., Kopenkina O.A. The theory and practice of the local environmental monitoring copper ore mining complexes. / Ed. AI Apples, pears. Ekaterinburg: Institute of Economics, Ural Branch of RAS, 2008. 224.

Рецензенты:

Хорошавин Л.Б., д.т.н., научный сотрудник Уральского филиала Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам ГО и ЧС, г. Екатеринбург;

Семячков А.И., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой геоэкологии УГГУ, г. Екатеринбург.
Работа поступила в редакцию 29.01.2013.