УДК 502.2;622;504.5

РАЗВИТИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СИСТЕМЫ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Семячков А.И., Двинских С.А., Почечун В.А.

Институт экономики УрО РАН;

Пермский государственный университет, Пермь;

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, e-mail: Semyachkov.A@ursmu.ru

В работе рассмотрен путь возможного развития системы горно-металлургического комплекса Среднего Урала. Развитие природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса определяется современным состоянием системы. Современное состояние данной системы показало, что необходимо внедрение природоохранных мероприятий, направленных на сохранение или улучшение экологической ситуации водного объекта. Оптимальным из возможных вариантов внедрения таких мероприятий являются биогеохимические барьеры. Биогеохимический барьер – это водная экосистема, перехватывающая поток загрязнения на пути к водотоку или водоему. Организовано это может быть различными способами: в виде ботанической площадки, берегового биоплато, плавающего биоплато, заболоченной территории (ветлэнда), предводохранилища. Проведенные лабораторные и натурные исследования показали, что биогеохимические барьеры позволяют снижать концентрации загрязняющих веществ в водном объекте до ПДК и имеют высокую эколого-экономичекую эффективность. Таким образом, предложенная технология защиты природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса с помощью биогеохимических барьеров показала, что данная технология является инновационной, что связано с ее высокой экологической эффективностью, низкой стоимостью и возможностью применения в любых природно-техногенных условиях.

Ключевые слова: развитие природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса, современное экологическое состояние системы, эколого-экономическая оценка сценария дальнейшего развития, управление системой, биогеохимические барьеры

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

Semyachkov A.I., Dvinskikh S.A., Pochechun V.A.

Institute of Economics, Ural Branch of RAS; Perm State University, Perm;

Ural State Mining University, Ekaterinburg, e-mail: Semyachkov.A@ursmu.ru

In this paper the way of the possible development of the mining complex of the Middle Urals. Development of natural and man-made system of mining and metallurgical complex is determined by the current state of the system. The current state of the system has shown that the implementation of environmental protection measures necessary to preserve or improve the environmental situation of the water body. The optimum of the possible introduction of such measures are biogeochemical barriers. Biogeochemical barrier – it's water ecosystem, intercepts the flow of pollution on a watercourse or body of water. It can be organized in different ways: as a botanical area, onshore bioplato floating bioplato, wetland (Wetland) predvodohranilischa. The laboratory and field studies have shown that biogeochemical barriers can reduce the concentration of pollutants in the water body to the MPC and have high ecological ekonomichekuyu efficiency. Thus, the proposed technology to protect natural and man-made system of the mining complex with biogeochemical barriers showed that the technology is innovative, due to its high environmental efficiency, low cost and the possibility of use in all natural and man-made environments.

Keywords: the development of natural and man-made system of mining and smelting complex, modern ecological condition of the system, economic evaluation scenario of further development, system management, biogeochemical barriers

Под развитием понимается переход системы в качественно новое состояние, где возникают или уничтожаются элементы структуры и соответственно повышается или уменьшается эффективность функционирования системы.

Из схемы следует, что изучение направленности развития должно начинаться с оценки сложившейся экологической ситуации, после чего нужно перейти к мероприятиям по ее улучшению или стабилизации, при этом важным фактором является эколого-экономическая оценка этих мероприятий. Такой путь позволит оптимально управлять развитием системы (экологической ситуацией).

В качестве модельного объекта выбрано предприятие ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» как типичное предприятие горно-металлургического комплекса.

В районе расположения ОАО «УРАЛГИ-ДРОМЕДЬ» были проведены комплексные мониторинговые исследования состояния элементов структуры данной природно-техногенной системы. Исследования показали, что экологические условия Гумешевского месторождения медистых глин сложные и определяются совокупностью природных и техногенных факторов.

Для оценки экологической ситуации района расположения ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ» нами были разработаны критерии оценки [1].

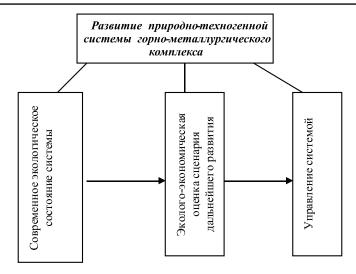


Рис. 1. Развитие природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса

В качестве критериев экологического состояния компонентов окружающей среды могут выступать различные нормативные по-казатели (санитарно-гигиенические и экологические), характеризующие меру возможного воздействия человека на природу, и исходные (фоновые) характеристики. В настоящее время насчитывается большое число нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК)

веществ, что предопределяет необходимость выбора их наиболее представительного перечня при исследовании конкретного объекта. Фоновые содержания также неоднозначны. Они могут быть нескольких уровней: глобального, регионального и локального.

Данные по ПДК и фоновым значениям сведены в табл. 1 и характеризуют их весьма высокое разнообразие.

 Таблица 1

 Критерии оценки экологического состояния компонентов окружающей среды

Среда/ Ингредиент		пдк			Фоновые характеристики						Vayronyy
Поверхностные воды		хозяйственно- рыбохо бытовые ствени			глобальный		региональ- ный	локальный		ĭ	Критерии оценки экологи- ческого
			[82]		[113]		[48, 49, 50]	Э.Ф. Емлин	РосНИИВХ		
		ГН 2.1.5.689-98							р. Ле- виха	р. Кала- тинка	состояния
	Си, мг/дм³	1	1.10	-3	7.10-3		3–10·10 ⁻³ (Г.А. Голева)		18·10-3	42·10-3	10.10-3
	Zn, мг/дм³	1	1.10-2		10.10-3		5-50·10 ⁻³		783·10 ⁻³	186·10 ⁻³	50.10-3
	Pb, мг/дм ³	3.10-2	1.10-1		10-3·10-3		1.10-3		3.10-3	28.10-4	10.10-3
	Cd, мг/дм³	$1 \cdot 10^{-3}$	5.10-3		8-20-10-3		3,3·10 ⁻⁴	0,7-380	75.10-5	55.10-5	
	As, мг/дм ³	3·10 ⁻³ 5·1		-2	2 2.10-3						3.10-3
		ГН 2.1.7.020–94	[56, 57]	[20]	[48, 49, 50]	[18]	[48, 49, 50]		[23]		
	Си, мг/кг	33	60	55	23,9	20	1–32	20			32
Почвы	Zn, мг/кг	55	70	100	55	50	55	200			55
	Рь, мг/кг	32	30	30	32	10	32	40		32	
	Cd, мг/кг	0,5	5			0,5	2		0,5		5
	As, мг/кг	2	2 5 2		8,7 [56]						5
٩		[56, 57]			[47]	[18]		[23]			
loci	Си, мг/кг	30			2	2		2			30
Растительность	Zn, мг/кг	150			20	20		120			150
	Рь, мг/кг	30			n	10		190			30
	Cd, мг/кг	50			n·10 ⁻³	1.10-2		10,35			50
I	As, мг/кг	5			n·10 ^{−1}						5

Анализ табл. 1 показывает, что существующий перечень ПДК и фоновых характеристик затрудняет выбор наиболее

приемлемых критериев оценки (КО) экологического состояния компонентов окружающей среды изучаемого района.

КО экологического состояния компонентов окружающей среды основаны на сочетании предельно допустимых и фоновых концентраций (табл. 1). Если значения ПДК и фоновых характеристик близки, то в качестве критериев используются ПДК. Если ПДК и фоновые характеристи-

ки отличаются друг от друга, то в качестве критериев принимаются последние (см. табл. 1).

Характерные превышения концентраций элементов во всех изучаемых средах над критерием оценки (КО) представлены на рис. 2

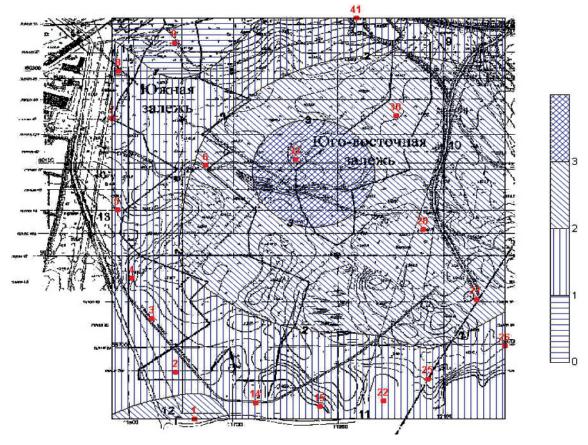


Рис. 2. Превышение содержания меди в почве растительности и поверхностных водах над КО

Анализ рис. 2 показывает, что изучаемая территория представляет собой ареал интенсивного техногенного загрязнения, где концентрация элемента составляет от nKO до 10·nKO.

Таким образом, рассматриваемая система горно-металлургического комплекса имеет несколько путей своего дальнейшего возможного развития:

- 1) дальнейшее развитие системы без внедрения природоохранных мероприятий (в этом случае она придет к деградации);
- 2) внедрение природоохранных мероприятий, направленных на сохранение или улучшение экологической ситуации. В качестве таких мероприятий были рассмотрены две модели:
- Строительство струераспределяющего устройства для равномерного распределения сточных вод вдоль береговой линии.
 - Создание биогеохимических барьеров.

При выборе модели природоохранных мероприятий были учтены экологическая и экономическая эффективность.

Расчеты показывают, что влияние вод шахтного водоотлива как источника загрязняющих веществ с наибольшей концентрацией проявляется слабо, очевидно, в силу небольшого объема сбросов по сравнению с основными притоками. Эти притоки из-за малой концентрации примеси в воде обеспечивают удовлетворительное разбавление малого количества сильно загрязненных вод.

Предполагаемые мероприятия направлены на увеличение времени пребывания воды на акватории залива, а также улучшение условий перемешивания.

Приведенные расчетные примеры (рис. 3, 4) показывают, что влияние выпуска шахтного водоотлива проявляется только вблизи самого выпуска. В дальнейшем перемещении жидко-

сти концентрации резко уменьшаются вследствие механизмов перемешивания. В варианте, где используются струенаправляющие дамбы, происходит некоторое увеличение средних скоростей течения. В результате этого за один и тот же период времени примесь

распространяется на большее расстояние от источника. В то же время за счет увеличения скорости течения усиливается процесс турбулентного перемешивания, что приводит к снижению локальных значений концентрации в узлах расчетной сетки.

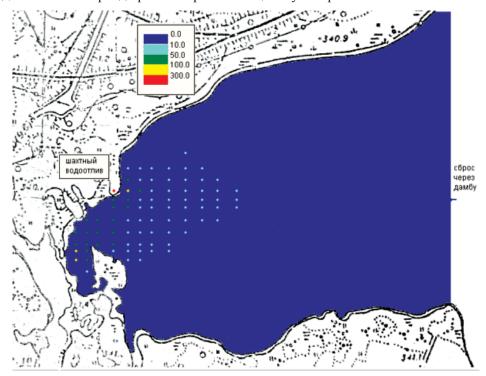


Рис. 3. Дамба, отгораживающая акваторию залива от основной акватории Северского пруда. Распространение примеси при замедленном водообмене

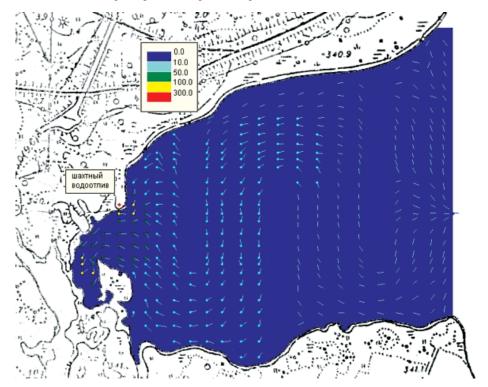


Рис. 4. Струенаправляющие дамбы на акватории залива

Гидравлические расчеты показывают, что влияние вод шахтного водоотлива как источника загрязняющих веществ с наибольшей концентрацией проявляется слабо, очевидно, в силу небольшого объема сбросов по сравнению с основными притоками. Эти притоки из-за малой концентрации примеси в воде обеспечивают удовлетворительное разбавление малого количества сильно загрязненных вод.

Приведенные расчетные примеры показывают, что влияние выпуска шахтного водоотлива проявляется только вблизи самого выпуска. В дальнейшем перемещении жидкости концентрации резко уменьшаются вследствие механизмов перемешивания. В варианте, где используются струенаправляющие дамбы, происходит некоторое увеличение средних скоростей течения. В результате этого за один и тот же период времени примесь распространяется на большее расстояние от источника. В то же время за счет увеличения скорости течения усиливается процесс турбулентного перемешивания, что приводит к снижению локальных значений концентрации в узлах расчетной сетки.

Таким образом, анализ данных показал, что строительство специальных сооружений в данном случае нецелесообразно в связи с высокой самоочищающей способностью поверхностных и подземных вод вследствие интенсивного разбавления естественным стоком.

Исследование эффективности биогеохимического барьера проводилось на Железянском заливе Северского водохранилища (рис. 5). Биогеохимический барьер в заливе сформировался под воздействием антропогенной деятельности как на водосборе, так и на акватории (сброс в залив загрязненных вод).

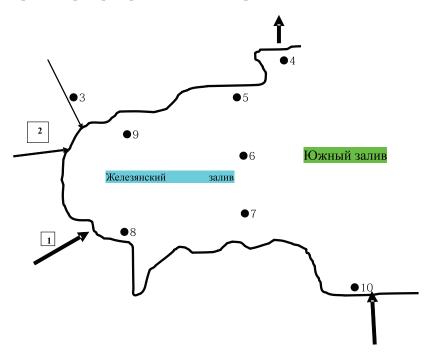


Рис. 5 Схема расположения створов отбора проб и замера расходов: Ств. 1 — новое русло р. Железянки (отбор проб, замер расходов). Ств. 2 — старое русло р. Железянки (отбор проб, замер расходов). Ств. 3 — шахтный водоотлив (отбор проб, замер расходов). Ств. 4 — сток в Северское водохранилище (отбор проб, замер расходов). Ств. 10 — сток из Штангового пруда (отбор проб, замер расходов). Ств. 5, 6, 7 — условный выход из Железянского залива (отбор проб). Ств. 8, 9 — зоны смешения вод, поступающих из 1,2,3 источников (отбор проб)

Оценку эффективности биогеохимического барьера водного объекта, очищающую способность от того или иного элемента можно проводить на основе баланса анализируемого ингредиента. Для исследуемого водного объекта оценивалась самоочищающая способность от ионов сульфа-

тов, гидрокарбонатов, цинка (2 +), марганца (2 +), меди (2 +), железа (2 +), фтора (1 -).

Проведем оценку самоочищающейся способности исследуемого водного объекта на примере сульфат-ионов. Результаты оценки баланса сульфат-ионов в момент отбора проб представлены на рис. 6.

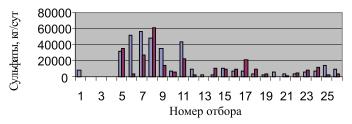


Рис. 6. Приход сульфатов в залив и вынос (ряд 1 – приход; ряд 2 – вынос)

Расчет баланса сульфатов в заливе за весь период наблюдений показывает, что 28,5% передается (от поступившего количества) депоненту в заливе, т.е. задерживается биогеохимическим барьером.

На рис. 7 представлены результаты определения концентрации сульфатов в воде в выходном створе из Железянского залива (т. 5, 6, 7), в воде, поступающей в Северский пруд (т. 4), и в воде, поступающей в залив из Штангового пруда (т. 10).

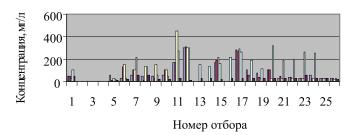


Рис. 7. Концентрации сульфатов в створах 5, 6, 7, 4, 10

В заливе сформировались условия, способствующие самоочищению его вод от сульфат-ионов. В целом балансовый расчет за исследуемый период показывает, что самоочищающая способность Южного залива по сульфатам зависит практически полностью от самоочищения в Железянском заливе и составляет 28,5%.

Регистрируется практически постоянное превышение приходной части баланса сульфатов над расходной. Отмечаемое иногда превышение выноса сульфатов над поступлением определяется значительным превышением расходной части водного баланса над приходной.

Эта величина самоочищающей способности (28,5%) получена на основе балансового расчета в целом по Южному заливу. Нас же интересует самоочищающая способность Железянского залива, поскольку именно эта часть при отделении ее дамбой будет испытывать основную нагрузку.

Конкретно самоочищение от сульфат-ионов в Железянском заливе в периоды отбора проб рассчитано на основе сравнения максимальных концентраций ингредиента в точках 8 и 9 с максимальными концентрациями в ств. 5, 6, и 7 (выходной створ из залива, расположенный в предполагаемом месте расположения дамбы). Результаты представлены на рис. 8.

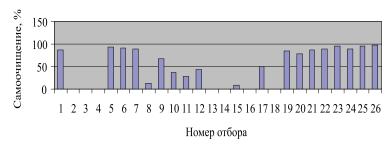


Рис. 8. Самоочищение Железянского залива от сульфат-ионов

Самоочищающая способность рассчитана по уравнению

$$CC = (C_1 - C_2) \cdot 100/C_1;$$

где C_1 – максимальная концентрация ингредиента в тт. 8, 9; C_2 – максимальная концен-

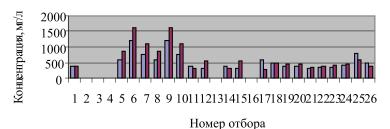
трация в тт. 5, 6, 7; СС – самоочищающая способность, %.

Представленные на рис. 7 данные показывают, что самоочищающая способность Железянского залива колеблется в значительном диапазоне (от 8 до 97%). Минимум

самоочищающей способности приходится на минимум концентраций в точках смешения (т. 8, 9) и начало перестройки экосистемы (начало осени). Причиной отмеченных вариаций может быть неравномерное время пребывания воды в заливе, связанное с постоянным колебанием уровня.

Сравнение данных, представленных на рис. 9 и 10, показывает, что отмеченная самоочищающая способность Железянского залива от сульфатов гарантированно позволяет снижать концентрацию ингредиента до ПДК общесанитарного (300 мг/л) от значительных исходных величин. В 60% случаев достигается концентрация ингредиента, равная или ниже ПДК рыбохозяйственного (100 мг/л).

Стабилизация водного режима Железянского залива гарантированно приведет к стабилизации экосистемы и повышению ее общей самоочищающей способности за счет увеличения биомассы гидробионтов и времени экспонирования воды в заливе.



помер отоора

Рис. 9. Концентрация сульфатов в ств. 8, 9

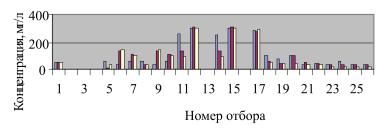


Рис. 10. Концентрация сульфатов в ств. 5, 6, 7

Из общей суммы поступающих в водоем сульфатов 79% поступает с водами р. Железянки (новое русло), 4% — по старому руслу, 4,4% — с шахтным водоотливом, остальное — с водами Штангового пруда.

На рис. 11 представлены результаты, позволяющие сравнить концентрации ингредиентов в т. 1 (основной поставщик сульфатов) с содержанием компонента в тт. 5, 6, 7 и 4 (выход из Железянского залива и Южного залива – т. 4)

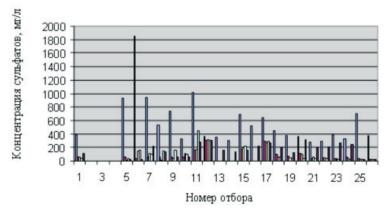


Рис. 11. Концентрация сульфатов в ств. 1, 5, 6, 7, 4

На выходе из Железянского залива (т. 5, 6, 7) концентрации сульфатов постоянно ниже, чем в основном потоке, формирующем сток в залив, что говорит о протекании

процессов, снижающих количество ингредиента в водной массе. Поскольку разбавление менее концентрированной водой в Железянском заливе исключено, причи-

ной снижения концентрации и количества ингредиента можно считать внутриводоемные процессы, основную роль среди которых играют физико-химические процессы. Роль высшей водной растительности не очень значительна, поскольку ее в водоеме сравнительно мало. При этом еще нарушается ее жизненный цикл из-за колебания уровня воды в заливе. Снижение концентрации сульфатов на выходе из Железянского залива по отношению к содержанию сульфатов в стоке р. Железянки колеблется в пределах 84–92%.

Отделение Железянского залива от Южного дамбой, позволяющей стабилизировать уровень в первом, увеличить время пребывания воды, приведет к увеличению площади зарастания, повышению роли растительности в кругообороте веществ, снижению выноса в Северское водохранилище ингредиентов в коллоидном и нерастворенном состоянии и, как следствие, к повышению самоочищающей способности.

Расчет экономической эффективности от строительства биогеохимических барьеров начинается с определения размера ущерба от загрязнения водных объектов

$$\mathbf{y} = K_{_{\mathrm{BO}}} \cdot \sum_{i=1}^{n} H_{_{i}} \cdot P_{_{i}},$$

где У – суммарный ущерб от загрязнения водных объектов от сброса со сточными водами загрязняющих веществ с концентрациями, превышающими ПДК водоприёмника; $K_{_{\mathrm{BO}}}$ – коэффициент, учитывающий категорию водного объекта (определяется по табл. 1); H_i – удельный показатель затрат для определения ущерба от сброса і-го загрязняющего вещества, тыс. руб./т (определяется исходя из Постановления Правительства РФ от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления» и Постановления Правительства РФ от 01.07.2005 № 10 «О внесении изменений в приложение № 1 к Постановлению Правительства РФ от 12 июня 2003 г. № 344»); P_i – масса i-го загрязняющего вещества, сброшенного в водный объект, т; і – загрязняющее вещество; п - количество загрязняющих веществ, по которым исчисляется ущерб.

№ п/п	Категория водных объектов	$K_{_{\mathrm{BO}}}$
1	Поверхностные и подземные водные объекты, имеющие преимущественное значение для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, имеющие важное рыбохозяйственное значение, рекреации, а также водные объекты, содержащие природные лечебные ресурсы и особо охраняемые водные объекты	1,5
2	Прочие водоемы (озера, пруды), болота	1,3
3	Прочие водные источники	1

Определение размера предотвращенного ущерба

$$\mathbf{y}_{\text{np}} = \mathbf{y} - \mathbf{y}_{\text{oct}}$$

где $\mathbf{Y}_{_{\mathbf{np}}}$ – предотвращенный ущерб; $\mathbf{Y}_{_{\mathbf{oct}}}$ – остаточный ущерб.

Предотвращенный ущерб рассчитан для предприятия ОАО «УРАЛГИДРОМЕДЬ», где могут быть внедрены биогеохимические барьеры для очистки Северского водохранилища. На строительство данных технологий предполагается затратить 5 млн руб.

На основании концентраций загрязняющих веществ в створах рассчитаны суммарный и остаточный ущербы, которые составляют:

$$y = 108,62$$
 млн руб.; $y_{\text{oct}} = 13,51$ млн руб.

Предотвращенный ущерб составит:

$$\mathbf{y}_{np} = 108,62 - 13,51 = 95,11$$
 млн руб.

Предотвращенный ущерб от строительства биогеохимических барьеров при укрупненных расчетах на их строительство в 5 млн руб. составляет 95,11 млн руб., что указывает на высокую экологическую и экономическую эффективность от их использования.

Таким образом, развитие природно-техногенной системы горно-металлургического комплекса определяется современным состоянием системы. Рассматриваемая система имеет несколько путей своего дальнейшего возможного развития:

1) дальнейшее развитие системы без внедрения природоохранных мероприятий (в этом случае она придет к деградации);

2) внедрение природоохранных мероприятий, направленных на сохранение или улучшение экологической ситуации.

Оптимальным из возможных вариантов внедрения таких мероприятий являются биогеохимические барьеры. Эколо*го-экономическая оценка* предложенной технологии защиты природно-техногенгорно-металлургического системы комплекса с помощью биогеохимических барьеров показала, что данная технология является инновационной, что связано с ее высокой экологической и экономической эффективностью, низкой стоимостью и возможностью применения в любых природно-техногенных условиях. С помощью биогеохимических барьеров возможно *управление системой*, так чтобы потоки загрязняющих веществ не попадали в соседние системы, тем самым предотвратив их загрязнение.

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: научное издание. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 320 с.
- 3. 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.

- 4. 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.
- 5. Попов А.Н., Почечун В.А., Семячков А.И. Инновационные технологии защиты водных объектов в горнопромышленных районах. Институт экономики УрО РАН, 2009. 139 с.

References

- 1. Dvinskih S.A., Beltyukov 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., 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.
- 4. Semyachkov A.I. Pochechun V.A., Sovetkin V.L. Theory, methodology and practice of geo-ecological environment assessment of mining and metallurgical complexes. The manual / Ed. J.G. Yaroshenko. Yekaterinburg: Izd USMU, 2006.
- 5. Popov A.N., Pochechun V.A., Semyachkov A.I. Innovative technologies to protect water bodies in the mining areas. Institute of Economics, Ural Branch of RAS, 2009. 139 p.

Рецензенты:

Литовский В.В., д.г.н., заведующий сектором размещения и развития производительных сил Институт экономики УрО РАН, г. Екатеринбург;

Рыбаков Ю.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой технологии производства УрГЭУ, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 29.01.2013.