

УДК 504.4:574(571.12)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ГЕОНИКИ В ПРАКТИКЕ ВОДООЧИСТКИ

© 2012 В.С. Лесовик, Ж.А. Сапронова, Р.О. Фетисов, Д.Ю. Ипанов

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Поступила в редакцию 04.10.2012

В работе рассмотрены эндогенные и экзогенные процессы образования природных вод, их очистка в естественных природных условиях. Описаны возможности использования техногенного сырья для очистки сточных вод с учетом принципов геоники – науки об использовании результатов исследования геологических процессов для решения различных технологических задач, в частности, проблемы водоочистки.

Ключевые слова: *геоника, геофизические и геохимические процессы, очистка, природные и сточные воды*

Вода – один из наиболее полезных и стратегически важных ископаемых на Земле. Она является неперенным условием жизни. Уже в настоящее время вода во многих регионах планеты является дефицитным природным ресурсом, а в недалеком будущем ее стоимость может стать больше стоимости нефти. Человек широко использует воду в своей практической деятельности: для питьевых, коммунально-бытовых и рекреационных нужд; для транспорта, рыболовства, орошения и других нужд. В природных условиях вода не встречается в химически чистом состоянии. В результате постоянного соприкосновения с различными веществами она представляет собой раствор, часто весьма сложного состава. Кроме того, вода поверхностных водных объектов может быть сильно загрязнена взвешенными веществами и химическими соединениями, которые попадают в нее со сточными водами предприятий, ливневыми и тальными стоками. Из табл. 1, где указаны составы природных вод рек Белгородской области Оскол и Тихая Сосна за период 2009-2011 гг. видно, что природные воды рек содержат множество различных химических и биологических веществ: хлориды, сульфаты, соединения азота, нефтепродукты, фосфаты и другие.

В процессе взаимодействия гидросферы с атмосферой, литосферой и биосферой вода оказывает влияние на различные вещества, образуя истинные и коллоидные растворы. Истинные растворы – это такие, в которых растворенные

вещества находятся в виде молекул и ионов с размерами частиц, не превышающих  $10^{-7}$  мм. Коллоидные же растворы включают в себя не отдельные молекулы, а группы молекул и ионов с размерами растворенных частиц от  $10^{-1}$  до  $10^{-5}$  мм. Проникая в почву, вода растворяет различные вещества, обогащаясь солями, органическими остатками и изменяя свой газовый состав. Согласно современным представлениям, подземные воды по происхождению могут быть как экзогенными (их источник – водные объекты на поверхности суши и влага атмосферы), так и эндогенными (их источник – недра Земли) [2].

Экзогенные подземные воды попадают в горные породы либо в процессе просачивания (инфильтрация) поверхностных вод и конденсации водяного пара, либо в результате седиментации (осадконакопления). Просачиваясь сквозь толщу земной коры, вода соприкасается с такими породами, как пески, глины, песчаники, мел, мергели, алевролиты и др. Все эти породы в той или иной мере обладают адсорбционными, коагуляционными, ионообменными, флокуляционными и другими свойствами, способствующими удалению из воды вредных примесей и обогащению многими микроэлементами. Вода, проникающая в нижние горизонты, по своему составу значительно отличается от поверхностных вод. В качестве примера можно привести минеральные воды некоторых месторождений (табл. 2). Согласно новейшим представлениям о видах воды в горных породах в настоящее время выделяются следующие основные виды: парообразная; прочносвязанная (адсорбированная, гигроскопическая) и рыхлосвязанная (вода поверхностных слоев, пленочная); капиллярная; свободная (гравитационная); твердая. Кроме того, в минералах установлена химически связанная вода (конституционная и кристаллизационная) [4].

*Лесовик Валерий Станиславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения, изделий и конструкций*

*Сапронова Жанна Ануаровна, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной экологии. E-mail: re@intbel.ru*

*Фетисов Роман Олегович, аспирант*

*Ипанов Дмитрий Юрьевич, аспирант*

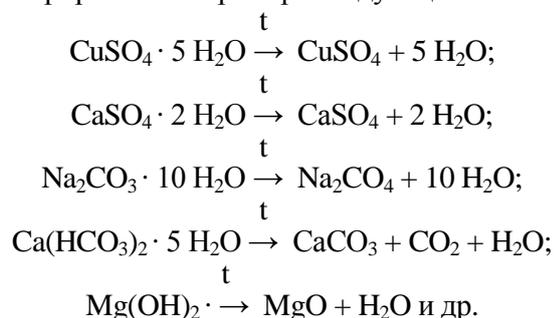
**Таблица 1.** Состав воды р. Оскол и Тихая Сосна [1]

Вещество или показатель химического состава воды	Единица измерения	Концентрация веществ в водном объекте	
		р. Оскол	р. Тихая Сосна
взвешенные вещества	мг/дм <sup>3</sup>	4,484	10,2
хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	18,68	44,1
сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	57,16	98,8
сухой остаток	мг/дм <sup>3</sup>	-	609,5
ХПК	мг/дм <sup>3</sup>	14,61	15,2
БПК <sub>5</sub>	мг/дм <sup>3</sup>	5,039	2,47
азот аммонийный	мг/дм <sup>3</sup>	0,075	0,45
азот нитритный	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,09
азот нитратный	мг/дм <sup>3</sup>	1,029	14,2
фосфаты по р	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	0,44
железо общее	мг/дм <sup>3</sup>	0,07	0,21
нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0,098	0,04
СПАВ	мг/дм <sup>3</sup>	0,0015	0
медь	мг/дм <sup>3</sup>	0,0004	-

**Таблица 2.** Составы минеральных вод [3]

Вещество или показатель химического состава воды	Ед. изм.	Концентрация веществ в минеральной воде					
		Эссендуки № 4	Эссендуки № 17	Нарзан	Боржоми	Славяновская, Смирновская	Лысогорская
минерализация	мг/дм <sup>3</sup>	8000-10000	12000-18500	1800-3000	5000-7500	3000-4000	13000-19000
гидрокарбонаты	мг/дм <sup>3</sup>	3600-4500	6000-8000	1000-1500	3500-5000	1200-1500	400-1200
сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	< 25	< 50	300-500	< 10	800-1000	5500-9000
хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	1500-1900	2200-4200	100-150	250-500	250-350	2200-3700
кальций	мг/дм <sup>3</sup>	< 150	< 200	300-400	20-150	250-350	350-550
магний	мг/дм <sup>3</sup>	< 75	< 300	80-120	20-150	< 50	500-900
натрий	мг/дм <sup>3</sup>			130-200	1000-2000		
калий	мг/дм <sup>3</sup>			130-200	1,0		
натрий+калий	мг/дм <sup>3</sup>	2500-2900	3200-6000			600-800	2800-4500

В ходе эндогенных процессов под воздействием тепловой энергии, давления земных недр и геологических процессов происходит выделение воды из горных пород. В частности, выделение воды из кристаллогидратов можно продемонстрировать на примере следующих схем:



В момент своего образования в силу геохимических условий вода насыщена самыми разнообразными примесями, среди которых могут быть и токсичные. Просачиваясь сквозь слои разнообразных пород к поверхности земли, вода проходит многочисленные стадии фильтрации, адсорбции, ионного обмена и т.д. Таким образом,

в ходе продвижения воды с поверхности вглубь земли и наоборот осуществляются естественные природные процессы очистки с участием различных пород, т.е. процессы, описываемые геоникой.

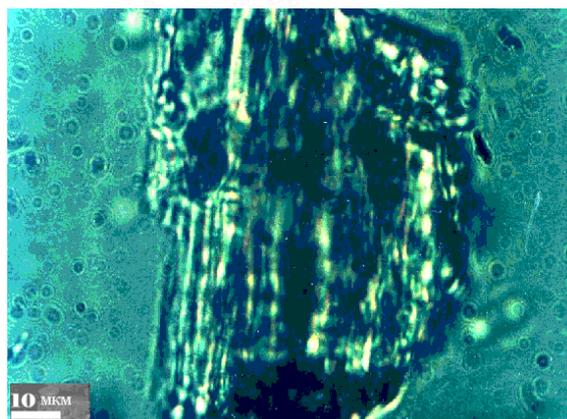
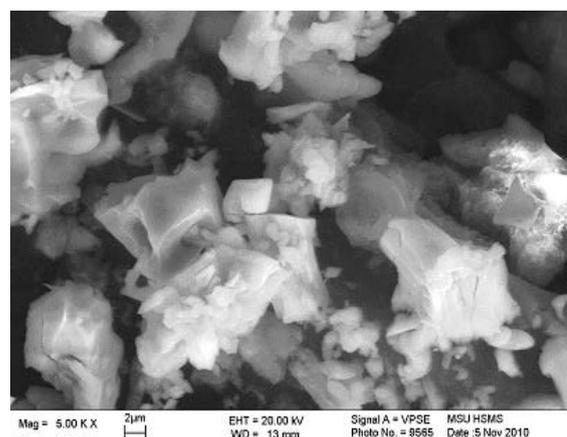
В отличие от бионики, идея которой заключается в применении знаний о живой природе для решения инженерных задач, цель геоники – разработка общих принципов управления развитием объектов неорганического мира. Реализация нового научного направления позволит не только расширить сырьевую базу и разработать новые технологии производства материалов и водоочистки, но и улучшить комфортность пребывания вида Homo Sapiens в системе «человек-материал-среда обитания». Геоника появилась в конце XX в. как одно из направлений кибернетики – науки общих законах управления в системах любой природы – биологической, технической, социальной [5, 6]. В частности, геоника может использовать результаты исследования геологических процессов для решения различных технологических задач. К одной из таких задач относится проблема очистки сточных вод,

в особенности, использование в водоочистке отходов различных производств.

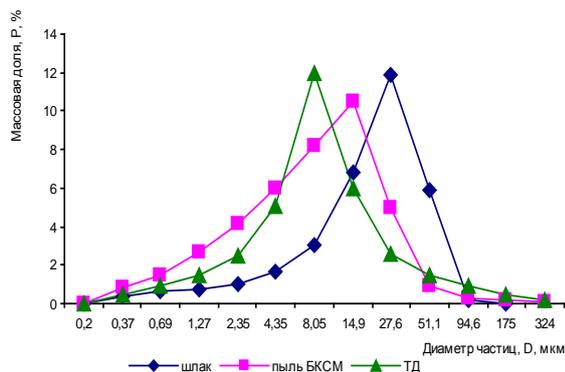
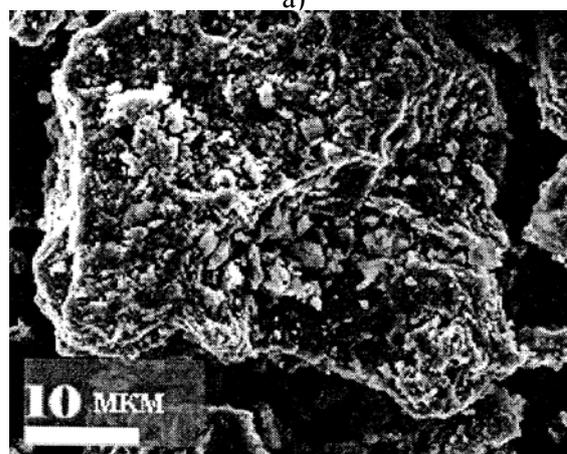
Как известно, проблема образования, накопления и возможности повторной переработки промышленных отходов обширна и многогранна. Для решения некоторых аспектов этой всеобъемлющей проблемы нами использованы принципы геоники, основные положения которой разработаны в Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова доктором технических наук, чл.-корр. РААСН В.С. Лесовиком [5, 6]. Мы рассматриваем образующиеся отходы, их возникновение, накопление, утилизацию и повторное использование как постоянное изменение и движение материи, как элемент эволюции окружающего мира. Многие твердые промышленные отходы обладают рядом физико-химических свойств, делающих их пригодными к использованию в водоочистке, применяя технологии, аналогичные процессам, протекающим в природе. Так, на кафедре промышленной экологии исследована возможность использования для очистки сточных вод таких отходов предприятий, как электросталеплавильный шлак и пыль электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) Оскольского электрометаллургического комбината, отход производства дисахаридов – дефекат, аспирационная пыль комбината строительных материалов (БКСМ). Все перечисленные отходы являются тонкодисперсными (рис. 1), имеют большую удельную поверхность (табл. 3), обладают высококоразвитой поверхностью (рис. 2) и имеют хорошие сорбционные свойства (табл. 3) [7-9]. Кроме того, благодаря своему сложному многокомпонентному химическому (табл. 4) и фазовому составу (рис. 3), они в определенных условиях способны проявлять реагентные, коагуляционные и флокуляционные свойства.

**Таблица 3.** Удельная поверхность отходов промышленности их сорбционная емкость по метиленовому голубуму

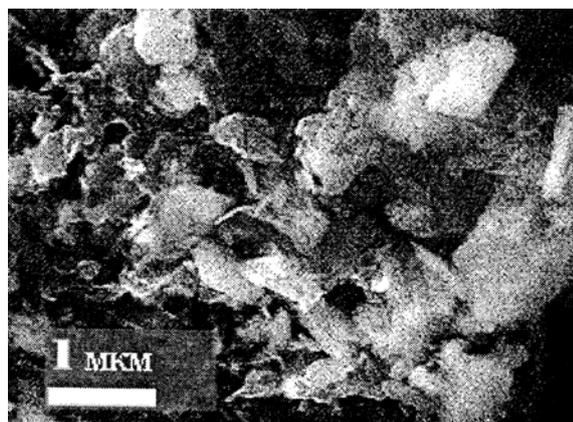
Наименование отхода	Удельная поверхность, $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Сорбционная емкость, мг/г
шлак ОЭМК	465,0	4,82
пыль ЭСПЦ	556,7	3,92
дефекат	872,5	3,49
пыль БКСМ	933,7	4,12



a)



**Рис. 1.** Соответствие весовой доли частиц (P, %) заданным значениям размеров частиц (D, мкм)



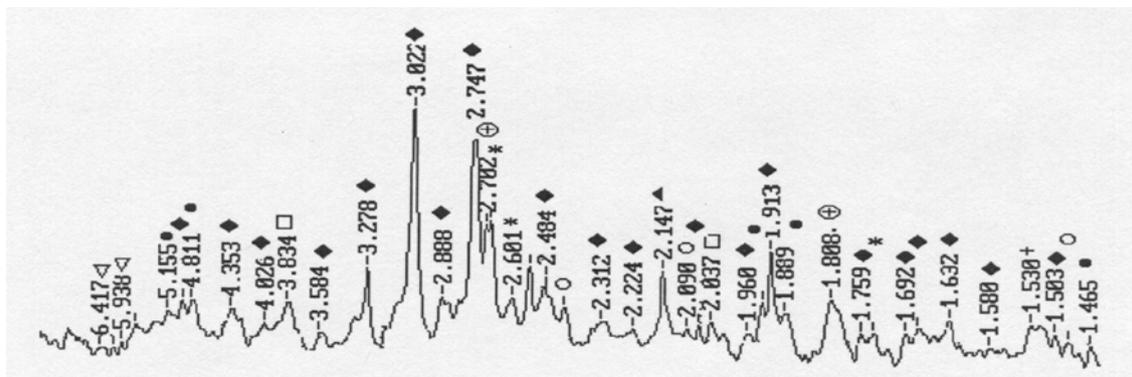
б)

Рис. 2. Микроструктура шлака (а) и термически модифицированного дефеката (б)

Все эти характерные особенности делают возможным использование их для очистки сточных вод сложного состава. Так, в лабораторных и промышленных условиях нами установлена возможность достижения высокой эффективности очистки сточных вод от ионов  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  и других металлов с помощью пыли ЭСПЦ, шлака ОЭМК, пыли БКСМ, отхода производства дисахаридов – дефеката. Показано, что дефекат эффективен также при очистке сточных вод от жиров, нефтепродуктов, СПАВ, красителей. Во всех этих случаях в ходе очистки в растворах протекают процессы, аналогичные протекающим в земной коре при просачивании воды через многочисленные слои различных пород: адсорбция, коагуляция, флокуляция.

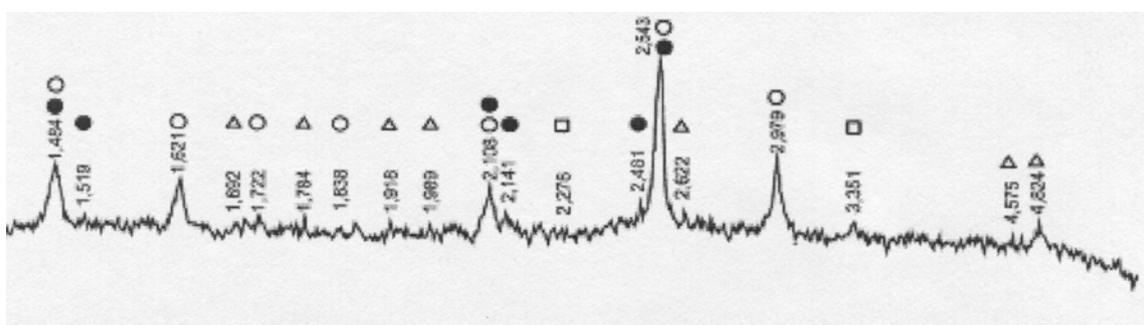
Таблица 4. Химический состав некоторых отходов

Вид отхода	Химический состав, %											
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>общ</sub>	C	S	Zn	прочие
шлак ОЭМК	54,6	25,4	7,1	1,8	0,8	9,4	0,1	2,3	н/о	н/о	н/о	0,3
пыль ЭСПЦ	24,0	18,0	0,3	8,0	3,0	5,0	0,28	43,3	2,5	0,4	1,5	1,72
пыль БКСМ	46,7	47,8	0,7	-	-	2,12	-	0,2	-	-	-	2,5

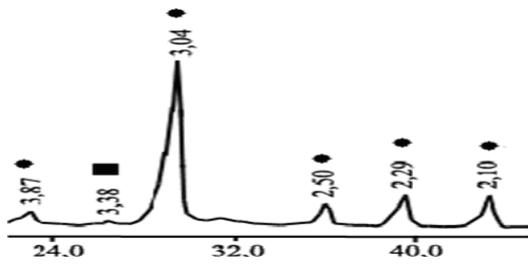


а)

Примечание:  $\blacklozenge$  –  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ;  $*$  –  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $+$  –  $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ;  $\nabla$  –  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\circ$  –  $\text{MgO}$ ;  $\square$  –  $\text{CaCO}_3$ ;  $\bullet$  –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\blacktriangleleft$  –  $\text{FeO}$ ;  $\otimes$  –  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ;



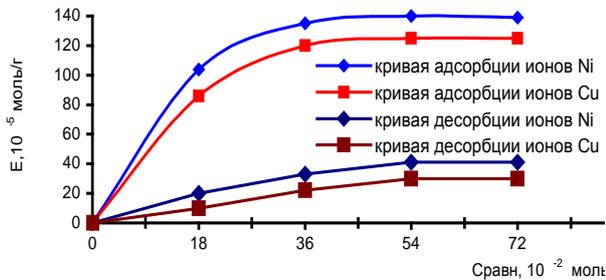
б)



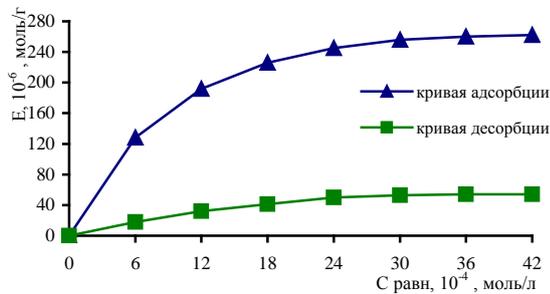
Примечание: ● – CaCO<sub>3</sub>; ■ – SiO<sub>2</sub>

Рис. 3. Рентгенофазовый анализ шлака воздушного охлаждения электросталеплавильного производства (а), пыли ЭСПЦ (б) и дефеката (в)

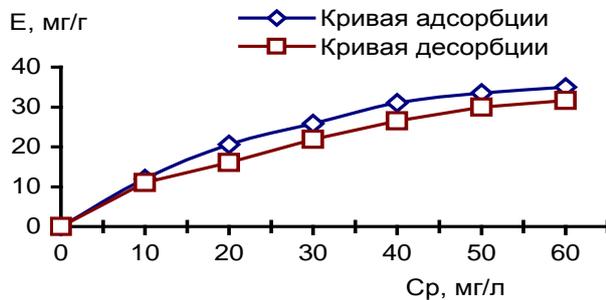
Благодаря высокоразвитой поверхности, наличию пор и активных центров в местах дислокации кристаллов при добавлении выщеперчисленных отходов к модельным растворам и сточными водами протекают процессы адсорбции загрязняющих веществ (рис. 4).



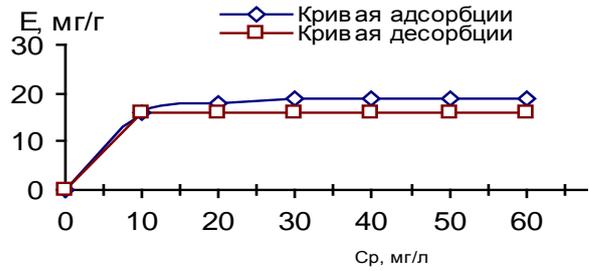
а)



б)



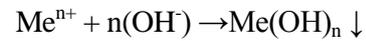
в)



г)

Рис. 4. Изотермы адсорбции и десорбции: а – ионов Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> на поверхности дефеката; б – красителя ОР на поверхности дефеката; в – ионов Fe<sup>2+</sup> на поверхности шлака; г – ионов Zn<sup>2+</sup> на поверхности шлака

В связи с повышенной щелочностью водных вытяжек шлака ОЭМК, дефеката, пыли ЭСПЦ и БКСМ (рис. 5) в водных средах возможна реагентная очистка:



При растворении шлака и пылей в подкисленной водной среде происходит растворение соединений Fe(II), Fe(III), Al и переход ионов Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup> и Al<sup>3+</sup> в раствор. Известно, что данные ионы являются хорошими коагулянтами, поэтому при их гидролизе происходит коагуляция (слипание) взвешенных частиц в модельных растворах и сточных водах, что приводит к их быстрой седиментации и обеспечивает высокую эффективность очистки вод.

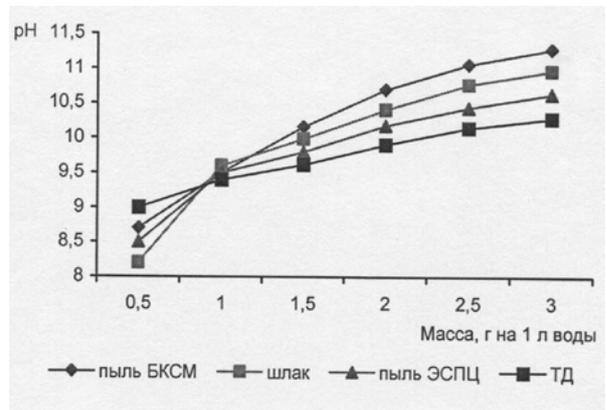
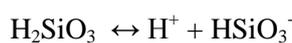
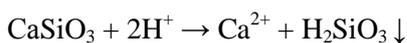
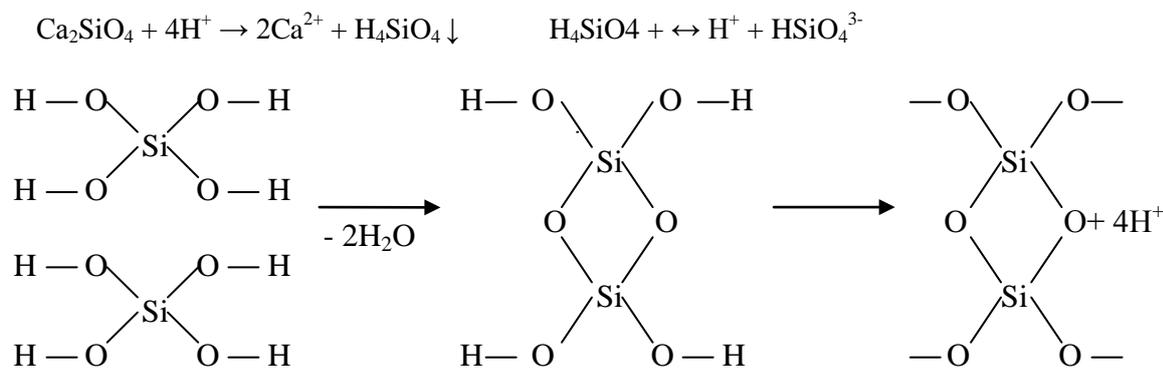


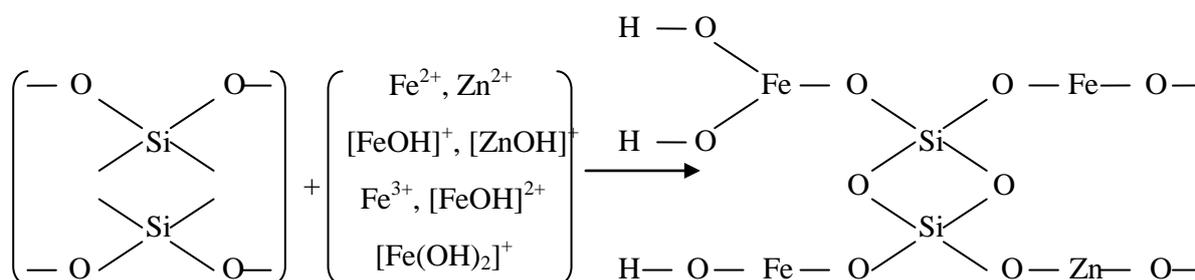
Рис. 5. Изменение pH водной среды при добавлении отходов промышленности (Ø частиц < 40 мкм)

Вследствие присутствия в шлаке и пылях силикатов металлов в кислой среде в растворенное состояние переходят ионы SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SiO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и другие ионы кремниевых кислот. Образующиеся кремнекислоты в водной среде диссоциируют и подвергаются реакции поликонденсации, вследствие чего их развитая поверхность приобретает отрицательный заряд.





Коллоидные частицы поликислоты, благодаря своему поверхностному заряду, притягивают к себе ионы и дипольные молекулы и обратимо связывают их, поэтому этот процесс можно приравнять к действию ионитов.



**Выводы:** принципы геоники позволяют успешно использовать закономерности геологических и геохимических процессов в практике водоочистки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Состояние окружающей природной среды Белгородской области в 2011 году. – Белгород: Росприроднадзор, 2012. 132 с.
2. Климентов, П.П. Общая гидрогеология / П.П. Климентов, Г.Я. Богданов. – М.: Недра, 1977. 357 с.
3. Минеральные воды [Электронный ресурс]. - 2012. – Режим доступа: <http://мвж.рф>.
4. Михайлов, В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – М.: Высш. шк., 2007. 463 с.
5. Лесовик, В.С. Геоника. Предмет и задачи. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 213 с.
6. Лесовик, В.С. Генетические основы энергосбережения в промышленности строительных материалов // Изв. Вузов. Строительство. 1994. № 7, 8. С. 96-100.
7. Кирюшина, Н.Ю. Шлаковые отходы в водоочистке / Н.Ю. Кирюшина, Г.И. Тарасова, С.В. Свергузова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 4. С. 140-145.
8. Лупандина, Н.С. Использование производственных отходов для очистки сточных вод / Н.С. Лупандина, Н.Ю. Кирюшина, Ж.А. Свергузова, Д.А. Ельников // Экология и промышленность России. 2010. Май. С. 38-41.
9. Свергузова, С.В. Использование отходов сталеплавильной промышленности и ГОКов для очистки сточных вод / С.В. Свергузова, Н.Ю. Кирюшина, О.В. Лашина // Вузовская наука - региону: материалы 6-й Всероссийской научно-технической конференции. – Вологда, 2008. Т. II. С. 438-441.

## USE THE GEONICS PRINCIPLES IN PRACTICE OF WATER PURIFICATION

© 2012 V.S. Lesovik, J.A. Saprionova, R.O. Fetisov, D.Yu. Ipanov

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

In work endogenous and exogenous processes of natural waters formation, their cleaning in natural environment are considered. Possibilities of use the technogenic raw materials for a sewage disposal taking into account the geonics principles – sciences about use the results of research the geological processes for the solution of various technological tasks, in particular, water purification problems are described.

Key words: *geonics, geophysical and geochemical processes, cleaning, natural and sewage waters*

Janna Saprionova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Industrial Ecology. E-mail: [pe@intbel.ru](mailto:pe@intbel.ru); Roman Fetisov, Post-graduate Student; Dmitriy Ipanov, Post-graduate Student