

УДК 504.54.062.4; 504.05:62

**М.А. Пашкевич, Е.В. Елдина**

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ  
ЭКРАНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПОЛИГОНА  
ЗАХОРОНЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Разработана технология вертикального экранирования, базирующаяся на создании противofильтрационной завесы из химически модифицированной глины, перекрывающей фильтрационный поток и предотвращающей поступление токсичных вод за пределы полигона.*

*Ключевые слова: токсичные отходы, полигон «Красный Бор», токсичные отходы, миграция токсикантов, химически модифицированной глины.*

**Семинар № 10**

---

**M.A. Pashkevich, E.V. Eldina  
THE VERTICAL AND HORIZONTAL  
SCREENING OF THE LANDFILL OF  
THE TOXIC WASTE BURIAL OF SAINT  
PETERSBURG AND ITS REGION**

*The technology of the vertical screening based on the curtain grouting building out of chemically modified clay is developed. The clay blocks the filtration current and prevents toxic water supply beyond the landfill limits.*

*Key words: toxic wastes, "Krasniy Bor" landfill, toxicant migration, chemically modified clays.*

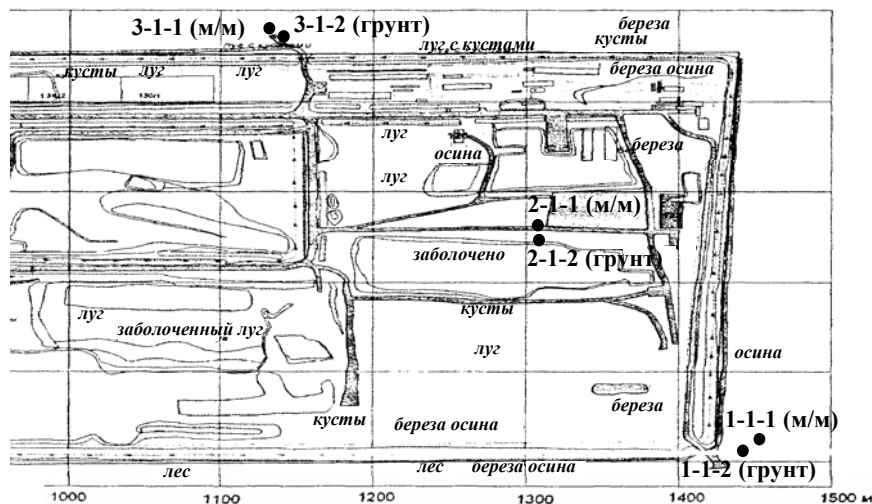
**В** настоящее время в Северо-Западном регионе Российской Федерации ежегодно образуется и захоранивается более 5 тыс. т токсичных отходов, что в основном обусловлено низкими значениями коэффициента использования промышленного сырья. Накопление и складирование отходов приводит к изменению естественных ландшафтов, загрязнению атмосферного воздуха, природных вод, почв и грунтов.

Специализированной территорией размещения промышленных токсичных

отходов Санкт-Петербурга и Ленинградской области является государственное природоохранное предприятие «Полигон «Красный Бор». Это экспериментальное предприятие эксплуатируется с 1970 года и имеет весьма значительные недостатки, такие как устаревшая технология переработки и захоронения отходов, а также технология рекультивации закрытых карт.

В существующем состоянии полигон «Красный Бор» является опасным источником загрязнения поверхностных и грунтовых вод водосбора реки Нева и ее притоков. Ежегодно, в среднем, около 250 тыс. м<sup>3</sup> сильно загрязненных стоков разгружается в естественную гидрографическую сеть, создавая угрозу загрязнения вод, используемых для водоснабжения Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

В этой связи возникает необходимость проведения комплексной, количественной оценки негативного воздействия полигона «Красный Бор» на компоненты природной среды и разработки комплекса средозащитных мероприятий по предотвращению дальнейшего загрязнения территории воздействия полигона.



**Рис. 1. Расположение гидрогеологических наблюдательных пунктов в восточной части полигона «Красный Бор»**

Государственное унитарное природоохранное предприятие «Полигон «Красный Бор» расположено в 30 км от Санкт-Петербурга на территории Гостенского района Ленинградской области в бассейне реки Невы и занимает площадь 67,8 га.

Основными видами деятельности полигона являются: транспортировка, прием, обезвреживание, переработка и захоронение токсичных отходов горно-металлургических и металлообрабатывающих производств, химической промышленности Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Захоронение смешанных твердых, пастообразных и жидких отходов производится в котлованах-картах, формируемых в массиве водоупорных кембрийских глин средней мощностью 80 м.

С 1970 года по настоящее время на полигоне захоронено более 1,8 тыс. т токсичных отходов.

Для оценки воздействия полигона на окружающую среду был проведен гидрохимический мониторинг восточной части полигона. Работы проводились по шести наблюдательным скважинам, вскрывающим зону аэрации полигона и грунтовые воды (рис. 1).

- наблюдательные скважины; м/м – скважина зоны аэрации (горизонт верховодья), глубина 3 м; грунт – грунтовые воды, скважина глубиной 20 м.

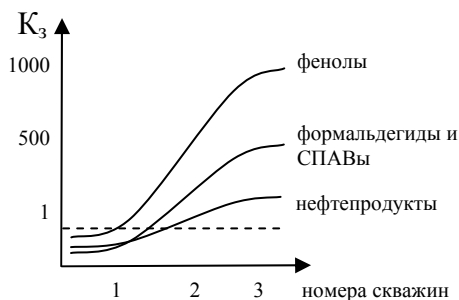
Анализ результатов режимных наблюдений (рис. 2) показал, что скважинами 2-1-1 и 2-1-2 вскрыт техногенный подвижный водоносный горизонт с высоким содержанием фенолов, формальдегидов, СПАВов, нефтепродуктов и тяжелых металлов. Уровень загрязнения грунтовых вод определен значениями коэффициентов суммарного загрязнения (1):

$$K_3 = \sum(C_i / ПДК_i), \quad (1)$$

где  $C_i$  – концентрация компонента в загрязненных водах, мг/л;  $ПДК_i$  – предельно допустимая концентрация компонента, мг/л.

Скважинами 3-1-1 и 3-1-2 вскрыт борт «рукава» выноса техногенного загрязнения грунтовых и подземных вод за пределами полигона.

Проведенные гидрохимические исследования на полигоне доказали, что могильник токсичных отходов не герметичен, таким образом, опровергнув гипотезу о водоупорных свойствах кембрийских глин. Индикация зон повышенной фильтрации дренажных вод



**Рис. 2. Распределение загрязняющих веществ**

производилась специалистами ГПП "Севзапгеология" методом спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП).

Оконтуривание полигона профилями ССП позволило выявить несколько тектонических нарушений, пересекающих отдельные карты. На рис. 3 представлен ССП-разрез, выполненный на восточной части полигона, в пределах которого путем отбора проб был выявлен участок утечки отходов. Как видно из разреза, место утечки соответствует середине выявленного воронкообразного объекта.

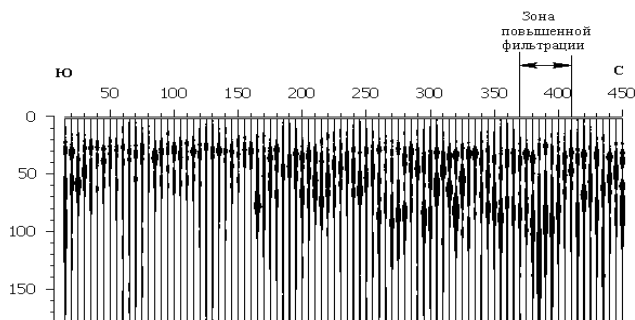
Главным результатом применения метода ССП было выявление зон фильтрации дренажных вод в районах тектонических нарушений, несмотря на то, что ранее отрицалась возможность влияния тектонических явлений на проницаемость глин в связи с явлением самозалечивания.

При дальнейшей комплексной оценке состояния природной среды в условиях воздействия техногенного массива «Полигон «Красный Бор» использовались две основные группы методов:

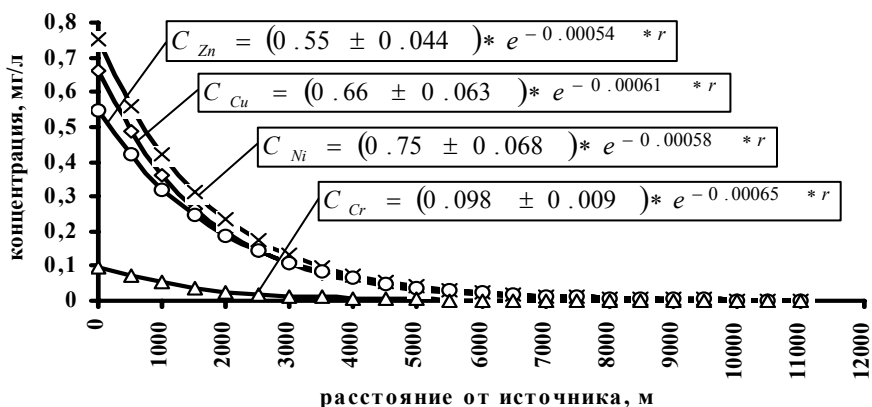
физико-химические и биоиндикационные. По результатам исследований были установлены наиболее характерные пути миграции токсикантов в компонентах природной среды, структурные особенности формирования техногенных ореолов и потоков, выявлен спектр основных загрязняющих компонентов. Основными загрязняющими компонентами, мигрирующими с территории захоронения отходов, являются железо, аммиак, тяжелые металлы – медь, хром, цинк, кадмий, никель, свинец, ртуть и органические токсиканты – СПАВ, нефтепродукты, фенолы, фенолформальдегид.

Результатом водной миграции токсикантов является формирование гидрогеохимического ореола загрязнения овальной формы, вытянутого в северном направлении, площадью порядка 750 га, контрастностью по Cu ( $K_{\text{к}}^{\text{ГДК}} = 660$ ), Ni ( $K_{\text{к}}^{\text{ГДК}} = 75$ ), Zn ( $K_{\text{к}}^{\text{ГДК}} = 55$ ), Cr ( $K_{\text{к}}^{\text{ГДК}} = 19,6$ ). Коэффициент суммарного загрязнения вод Kз в северном направлении от границы полигона на протяжении 11 км изменяется от 1279 до 18.

Оценка аэротехногенного влияния полигона производилась по результатам лесопатологического обследования, лишеноиндикации, снежометрической съемки. Проведенные исследования позволили выявить структурные закономерности формирования техногенного атмосферического ореола, а так же переротложенного литохимического ореола загрязнения площадью 670 га, образующегося вследствие атмосферных выпадений, контрастных по меди, хрому, никелю, цинку и др.



**Рис. 3. ССП-разрез восточной части полигона «Красный Бор»**



**Рис. 4. Распространение загрязнителей от границы полигона**

На основании проведенных исследований определена экспоненциальная закономерность распределения концентраций тяжелых металлов и органических соединений в природных водах в зависимости от природной и технической защищенности компонентов природной среды от загрязнения, формы нахождения загрязняющих компонентов в отходах, миграционной способности загрязнителей.

На рис. 4 показаны кривые распределения концентраций для различных загрязняющих веществ. Также определена величина достоверности аппроксимации для каждого вещества: (Cu –  $R^2 = 0,8466$ ; Ni –  $R^2 = 0,8929$ ; Zn –  $R^2 = 0,8391$ ; Cr –  $R^2 = 0,8158$ ).

Закономерность пространственной динамики загрязняющих веществ описывается уравнением экспоненциальной зависимости (2):

$$C_i = C_{i_{\max}}^i * e^{-\xi * r}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества, мг/л;  $C_{i_{\max}}^i$  – максимальная концентрация  $i$ -го компонента в истоке отводного канала, мг/л;  $e$  – основание натурального логарифма, ед.;  $r$  – расстояние от границы полигона, м;  $\xi$  – константа для  $i$ -го загрязняющего вещества,  $m^{-1}$  (определена методом аппроксимации с помощью программы Excel).

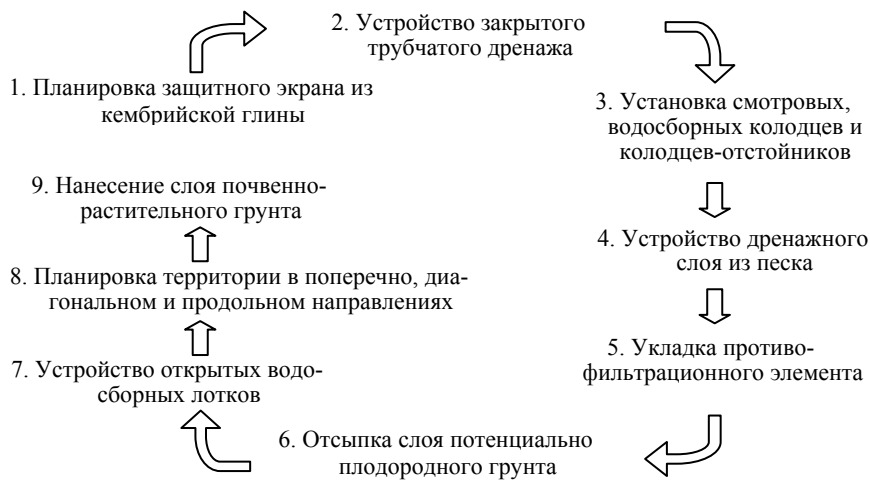
Проведенные исследования показали, что благополучие экологической ситуации на территории воздействия полигона определяется в основном качеством вод поверхностного и подземного стока, разгружающихся с территории массива в гидросеть района. В этой связи возникает необходимость разработки системы защитно-дренажных мероприятий по предотвращению загрязнения поверхностного стока.

Снижение риска техногенного воздействия хранилищ отходов на природные воды может быть достигнуто мероприятиями, направленными на повышение защищенности природных вод, в которые мигрируют поллютанты из открытых карт.

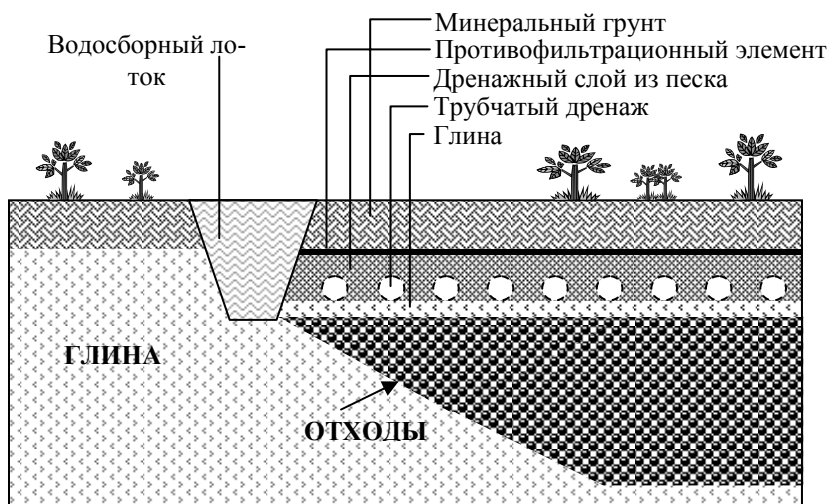
В этой связи предлагается организовать следующие мероприятия:

- горизонтальное экранирование поверхности карт;
- изоляция фильтрационных путей по неотектоническим нарушениям вертикальным экранированием.

Целью разрабатываемых мероприятий по рекультивации является создание водоудерживающего покрытия для предотвращения инфильтрации атмосферных осадков и вод поверхностного стока через заскларированные отходы в подземные воды после окончания эксплуатации карт.



**Рис. 5. Основные мероприятия технического этапа рекультивации полигона**



**Рис. 6. Система поверхностного экранирования отработанных карт полигона**

Защитно-дренажная система покрытия полигона должна удовлетворять следующим требованиям: предотвращать миграцию жидкости через заскларированные отходы; свести к минимуму опасность загрязнения подземных вод и почв после закрытия; быть устойчивой к эрозии и абразии; иметь дренажную систему для отвода атмосферных осадков и поверхностных вод; быть устойчивой к деформациям уплотнения под-

стилающих отходов; иметь систему коллекта газов, вызванных процессами, происходящими с отходами.

Рекультивацию предлагается проводить в 2 этапа:

- технический этап (рис. 5), заключающийся в планировании существующего экрана из глины, проведении дренажных мероприятий, укладке бентонита и геомембраны, отсыпке грунта;

Таблица 1

**Параметры слоев поверхностного экранирования**

Наименование	Характеристика
Существующий поверхностный экран из глины	Планировка под принятые уклоны и отметки
Трубчатый дренаж	Пластмассовые перфорированные трубы диаметром 100 мм, смотровые колодцы из железобетонных колец диаметром 1 м
Дренажный слой	Слой из песка толщиной 20 см
Противофильтрационный элемент	Бентомат (коэф. фильтрации $10^{-11}$ м/сек) и геомембрана (водопроницаемость $<0,1$ г/м <sup>2</sup> в сут)
Слой грунта	Минеральный и потенциально плодородный грунт мощностью 1 м

Таблица 2

**Изменение свойств кембрийской глины после кислотно-щелочного гидролиза**

Состав	рН	W, %	Пределы пластичности глинистой породы, %		
			Предел текучести $W_L$	Предел раскатки $W_p$	Число пластичности $J_p$
Кембр. глина	7,3	50	46	25	21
После кислотного гидролиза					
Кембр. глина+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2-3	40	59	29	30
Кембр. глина+H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		40	60	28	32
После кислотно-щелочного (+NaOH) гидролиза					
Кембр. глина+H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10-11	60	77	25	52
Кембр. глина+H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		60	76	24	52

• биологический этап рекультивации, заключающийся во внесении удобрений, высаживании семян многолетних трав и их заделки в грунт.

Схема слоев для поверхностного экранирования участка рекультивации представлена на рис. 6 и в табл. 1.

Необходимость вертикального экранирования на территории полигона обусловлена проведенными гидрохимическими исследованиями, установившими наличие неотектонических нарушений, в результате которых происходит формирование техногенного водоносного горизонта и миграция загрязненных сточных вод в направлении притоков реки Невы.

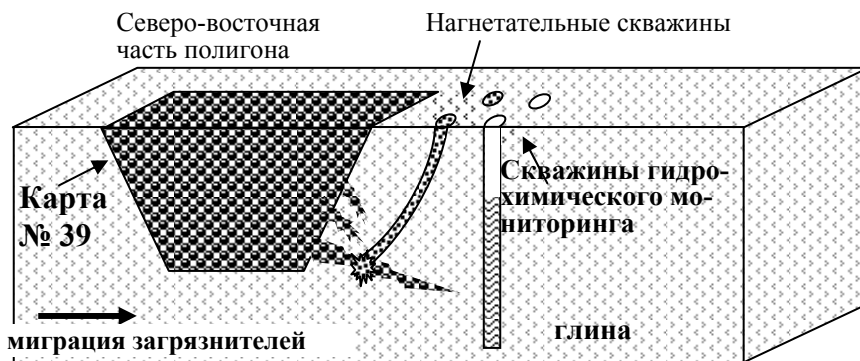
Специалистами ГПП «Севзапгеология» установлено, что тектонический

разлом представляет собой систему трещин, расположенных в основании карты № 39 на глубине 22 м, протяженностью 30 м, а также что миграция токсикантов происходит с юго-востока на северо-запад.

Формирование экрана предлагается производить методом инъекций (под давлением 1,8 МПа) через скважины химически трансформированной кембрийской глины в тело тектонического разлома.

Противофильтрационная завеса устраивается из 6 скважин, располагаемых в два ряда в шахматном порядке, с расстоянием между рядами 1,5 м и расстоянием между скважинами в ряду 2 м.

Устройство скважин для вертикального экранирования показано на рис. 7.



**Рис. 7. Схема вертикального экранирования**

Сорбционная завеса обеспечит:

- снижение интенсивности фильтрации подземных вод в направлении реки Невы и ее притоков;
- интенсификацию процессов очистки фильтрующихся вод за счет высоких сорбционных свойств модифицированных глин;
- длительность изоляции, что обусловлено высокой пластичностью модифицированной глины и ее возможностью трансформироваться даже при наличии деформаций растяжения.

Сорбционная способность глинистых пород, а также их пластичность определяется видом и свойствами входящих в их состав глинистых минералов. Глинистые минералы относятся к группе водных силикатов слоистого и слоисто-ленточного строения, отличающихся от других минералов класса силикатов высокой дисперсностью, гидрофильностью, способностью к сорбции и ионному обмену. Одной из важнейших особенностей этих минералов является наличие у них изоморфизма, в результате которого происходит замещение в кристаллической решетке одних катионов на другие.

Проведенные лабораторные исследования различных типов глин показали, что оптимальными сорбционными свойствами обладают кембрийские гли-

ны, находящиеся в карьере в 2 км от полигона.

Повышение сорбционной емкости глин может быть достигнуто путем их модификации с использованием процесса кислотно-щелочного гидролиза. В качестве кислого реагента могут использоваться растворы неорганических кислот ( $\text{pH}=1-2$ ) или кислый промышленный сток ( $\text{pH}=2-4$ ), а в качестве щелочного – карбидный шлам, известковое молоко, цемент, сода.

Изменение физико-химических свойств глинистых пород после гидролиза приведено в табл. 2.

После кислотного гидролиза число пластичности глинистых пород возрастает в 1,5-2 раза. А после последующего щелочного гидролиза происходит увеличение числа пластичности более чем в 2,5-3 раза по сравнению с исходным. Таким образом, увеличение дисперсности у исследованных глин, подвергшихся гидролизу, способствует повышению их сорбционной активности.

Основные научные и практические выводы:

1. На основе многолетних природных наблюдений за состоянием природных вод установлено, что формирование гидрогеохимического ореола загрязнения «Красный Бор» происходит в результате утечек жидких отходов через основание карт вследствие резкого повышения

фильтрационных свойств глин обусловленных неотектонической активностью.

2. На основании проведенных ландшафтно-геохимических исследований определены закономерности распределения концентраций во времени тяжелых металлов, фенолов, СПАВов и нефтепродуктов в зависимости от природной и технической защищенности компонентов природной среды от загрязнения, формы нахождения загрязняющих компонентов в отходах, миграционной способности загрязнителей, характеризующиеся экспоненциальными зависимостями концентрации загрязняющих веществ от расстояния.

3. Разработана и научно обоснована

рациональная технология рекультивации карт погребенных токсичных отходов полигона "Красный Бор", заключающаяся в создании защитного экрана из глины, отдельном отведении поверхностных и грунтовых вод, устройстве дренажного слоя, укладке бентомата и геомембраны, отсыпке минерального и потенциально плодородного грунта.

4. Разработана технология вертикального экранирования, базирующаяся на создании противofильтрационной завесы из химически модифицированной глины, перекрывающей фильтрационный поток и предотвращающей поступление токсичных вод за пределы полигона. **ГИАБ**

### Коротко об авторах

*Пашкевич М.А.* - доктор технических наук, заведующий кафедрой,

*Елдина Е.В.* - аспирантка,

кафедра «Геоэкологии», Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), [spmi@mail.wolus.net](mailto:spmi@mail.wolus.net)



### РУКОПИСИ,

#### **ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

*Фаткулин А.А., Кандырев Б.И., Белов А.В., Ларонов М.В., Иванов А.Н., Гребенюк И.В.* ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ГАЗА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ (697/07-09 от 15.04.09) 5 с.

Приведена возможность применения технологии подземной газификации угля (ПГУ) для получения газа - сырья для производства химических продуктов. Проанализирован состав газа для различных типов дутья. Приведена оценка горных энергохимических комплексов по выпуску аммиака, карбамида, метанола и искусственного жидкого топлива

*Fatkulin A.A., Kondyrev B.I., Belov A.V., Larionov M.V., Ivanov A.N., Grebenyuk I.V.*

#### **CHEMICAL PROCESSING OF UNDERGROUND COAL GASIFICATION GAS**

In article is resulted possibility of underground coal gasification technology (UCG) using for production of UCG gas as raw materials for different chemical products. The gas components for various types of blasting is analyzed. The estimation of UCG mining power chemical complexes for ammonia, carbamide, methanol and liquid fuel production is resulted.