

3. Згуровский М.З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка. – 1997. – 368 с.
4. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука. – 1982. – 320 с.
5. Мацак В.Г. Гигиеническое значение скорости испарения и давления пара токсических веществ, применяемых в производстве. / Мацак В. Г., Хоцянов Л. К. - М.: Медгиз, 1959. - 231 с
6. Методика прогнозування наслідків впливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті. – К., 2001. – 33 с.
7. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. - М.: Мир, 1980. –616 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 20.04.2012*

УДК 550.428:553.93

© В.В. Ишков

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА И ХРОМА В УГЛЕ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ПЛАСТОВ АЛМАЗНО-МАРЬЕВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Рассмотрены особенности распределения Pb та Cr в угольных пластах Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района. Установлен характер распределения, выполнен расчет средневзвешенных концентраций в углях основных пластов и свит, выявлен состав типоморфной геохимической ассоциации Co и V с другими токсичными и потенциальными элементами в углях района.

Розглянуто особливості розподілу Pb та Cr у вугільних пластах Алмазно-Марьївського геолого-промислового району. Встановлено характер розподілу, виконано розрахунки середньозважених концентрацій у вугіллі основних пластів та світ, з'ясовано склад типоморфної геохімічної асоціації Co та V з іншими токсичними і потенційно токсичними елементами у вугіллі району.

The peculiarities of Pb and Cr distribution in the coal strata of Almazno-Marievsky geological and industrial district have been considered in the article. There was defined the character of distribution, calculated weighted average concentrations in the coals of basic strata and formations, determined the composition of typomorphic geochemical association of Co and V with other toxical and potentially toxical elements in the coals of the district.

Вступление. Исследования распределения свинца и хрома в углях основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района Донбасса связаны с повышением требований к охране окружающей среды, обусловливающих потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержания токсичных и потенциально токсичных элементов в добываемой шахтами горной массе, отходах добычи и углеобогащения. Для объективной оценки воздействия угледобывающей промышленности и предприятий теплоэнергетики на экологическую ситуацию и планирования наиболее эффективных мероприятий, направленных на ее улучшение, необходимо располагать сведениями о характере распределения и уровне концентрации токсичных элементов в углях и вмещающих породах, извлекаемых в процессе добычи. С целью полу-

чения такой информации в Национальном горном университете были выполнены детальные исследования, охватившие всю территорию Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района.

Последние достижения. Ранее В.В. Ишковым совместно с А.И. Чернобук, Д.Я. Михальчонок, В.В. Дворецким [1, 2] исследованы особенности распределения некоторых токсичных и потенциально токсичных элементов в продуктах и отходах обогащения ряда углеобогатительных фабрик Донбасса, а также совместно с А.Л. Лозовым [3] рассмотрены особенности распределения основных токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пластов Павлоград-Петропавловского района. В 2009 г. автором были обобщены и проанализированы данные о закономерностях накопления кобальта и ванадия в угольных пластах Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района [4]. В то же время совместное распределение свинца и хрома в углях основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района рассматривается впервые.

Формулирование целей. Основными задачами, решаемыми в данной работе, являлись: ревизия выполненных ранее исследований концентраций свинца и хрома в углях основных рабочих угольных пластах; классификация этих пластов по содержанию свинца и хрома; выявление связи и расчет уравнений регрессий между концентрациями этих элементов, а также другими основными токсичными и потенциально токсичными элементами, петрографическим составом углей и их основными технологическими параметрами.

Изложение. Используемый фактический материал характеризует содержание свинца и хрома в углях 46 пластов относящихся к свитам C_2^3 (пласты h_6 , h_7 , h_{10}^1 и h_{11}), C_2^5 (пласты k_2^1 , k_3^1 , k_3^H , k_3 , k_3^B , k_4 , k_5 , k_5^1 , k_5^2 , k_6 , k_7^1 , k_8^H и k_8), C_2^6 (пласты l_1 , l_2 , l_2^1 , l_3 , l_4 , $l_4^B+l_4^H$, l_4^B , l_5 , l_6^H , l_6 , $l_6^B+l_6^H$, l_6^B , $l_7^B+l_7^H$, l_7 , l_8^H , $l_8^B+l_8^H$, l_8 и l_8^B) и C_2^7 (пласты m_3 , $m_3+m_3^H$, m_4 , m_5^1 , m_6 , m_6^1 , m_6^2 , m_6^3 , m_8 и m_9) среднего отдела каменноугольного периода. Именно по этим пластам были получены наиболее представительные (более 33 анализов, удовлетворяющих требованиям правильности и воспроизводимости [5, 6] и относительно равномерно распределенные по площади) результаты. В целях получения наиболее объективных и однородных данных в работе использовались в основном результаты полуколичественных и количественных анализов углей керновых проб полей шахт «Вергелевская», «Ломоватская», «Анненская», «Замковская», «Краснопольевская», «Брянковская», «им. Ильича», «им. Чеснокова», «Максимовская», «Центральная Ирмино», «им. Менжинского», «им. Кирова», «Бежановская», «Первомайская», «Горская», «Радуга», «Карбонит», а также их резервных блоков и участков, которые были выполнены после 1983 г. в центральных сертифицированных лабораториях геологоразведочных организаций, в ряде случаев они дополнялись анализами пластово-дифференцированных проб отобранных лично или совместно с сотрудниками геологических служб производственных геологоразведочных и добывающих организаций.

После первичного анализа и разбраковки качественных и количественных характеристик правильности и воспроизводимости результатов анализов в дальнейшей работе было использовано 1872 определений свинца и 1786 опре-

делений хрома в углях района. С целью получения представительных оценок содержания свинца и хрома в углях, как отдельных пластов, свит, так и в целом по району единичные определения были объединены по отдельным пластам в 46 пообъектных выборок, а дальнейший расчет средних значений концентраций выполнялся как средневзвешенное на объем пласта. При расчетах объема принималась средняя мощность в пределах пласта, а площади достоверно установленных размывов и выклинивания не учитывались.

В целях классификации угольных пластов района по содержанию свинца и хрома была выполнена процедура кластерного анализа. Использование кластерного анализа в целях классификации имеет ряд преимуществ, так как позволяет выполнить разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в соответствующем понимании группы или кластеры, а также выявить их внутреннюю структуру (на разных иерархических уровнях) в изучаемой выборочной совокупности. В связи с этим в данной работе использовался, как наиболее эффективный взвешенный центроидный метод, а в качестве меры сходства - евклидовое расстояние между средневзвешенными содержаниями свинца и хрома в углях пластов. Как показано в [8] такой подход является наиболее эффективным и позволяет не только установить количество результирующих кластеров, но и выявить их структуру. Результаты кластерного анализа концентраций свинца в угле пластов района взвешенным центроидным методом приведены на рис. 1, а хрома – на рис. 2.

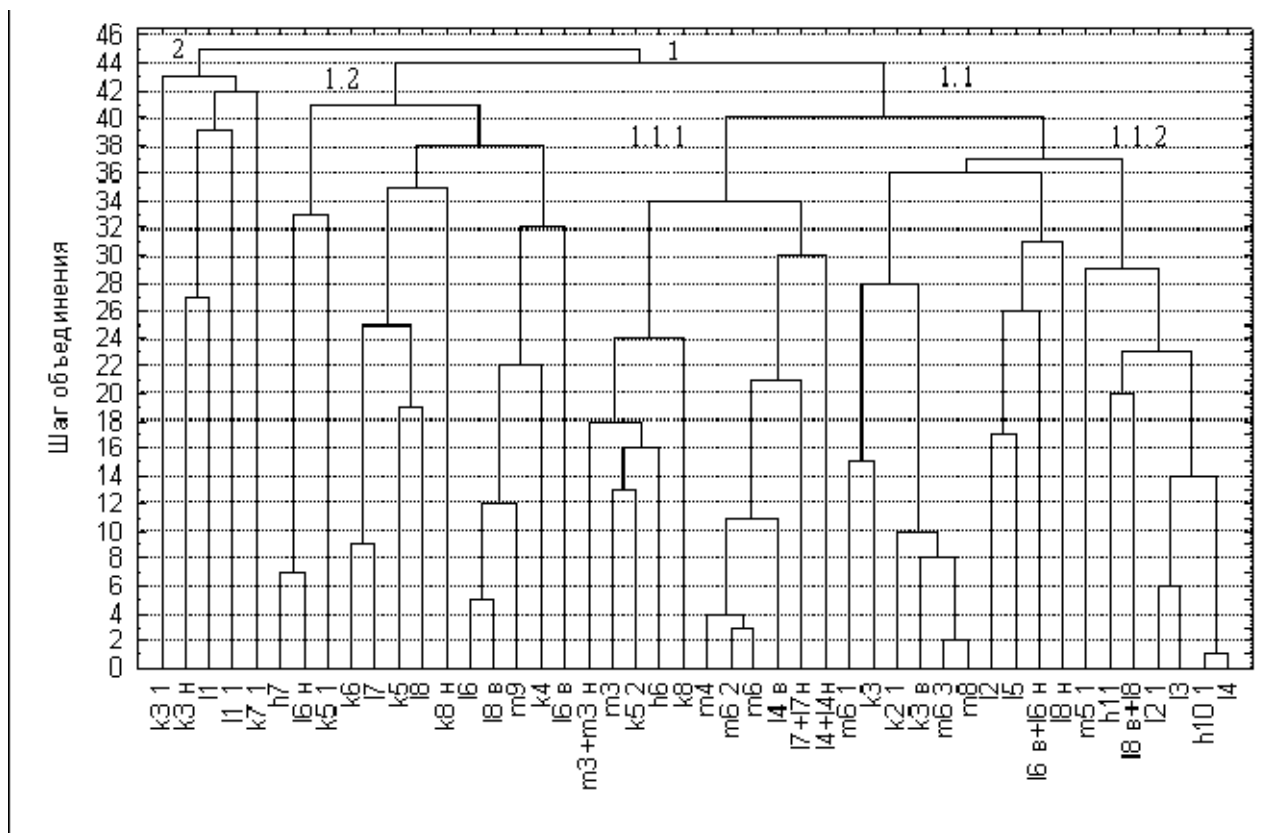


Рис.1. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района по содержанию свинца в угле

На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию свинца (см. рис. 1) кластер 1.1.1 составляют пласты с минимальным содержанием (от 1,5 до 2,6 г/т, при среднем по кластеру 2,1 г/т), кластер 1.1.2 – пласты с низким содержанием (от 3,5 до 6,7 г/т, при среднем по кластеру 4,8 г/т), кластер 1,2 – с повышенными концентрациями (от 7,3 до 11,6 г/т, при среднем по кластеру 9,2 г/т), кластер 2 образуют пять пластов с аномально высокими концентрациями (от 14,0 до 20,0 г/т, при среднем по кластеру 16,1 г/т). Обращает внимание близость (в пределах 95 % доверительного интервала) средних значений содержания свинца в углях пластов кластера 1.1.2 и фонового значения концентрации этого элемента всех изученных пластах района.

На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию хрома (см. рис. 2) первый кластер объединил все пласты района, за исключением пласта I₁, содержание хрома в углях пластов кластера варьирует от 1,2 до 23,0 г/т, при среднем по кластеру 12,2 г/т. Во второй кластер вошел только один пласт I₁ с аномально высокой средне взвешенной концентрацией – 56,6 г/т.

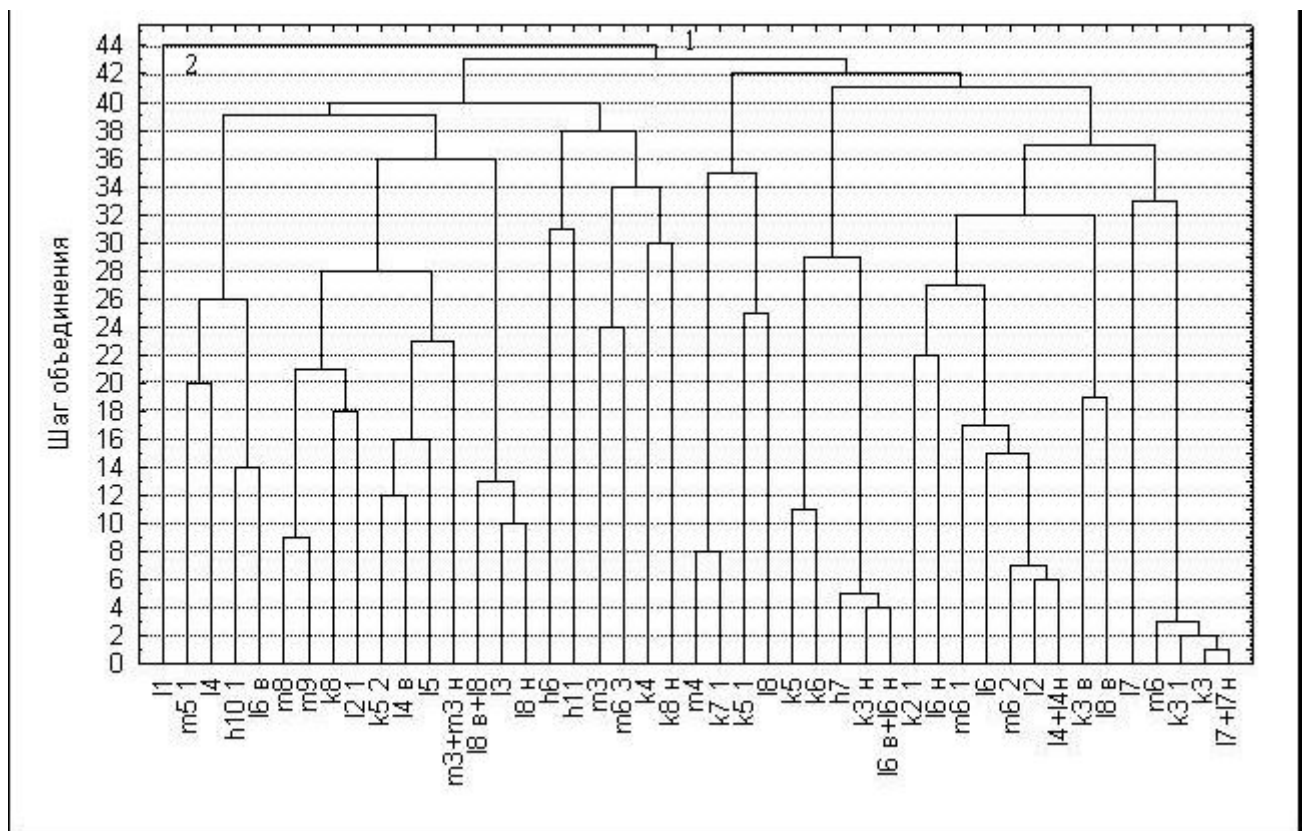


Рис. 2. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района по содержанию хрома в угле

Для выявления основных факторов, контролирующих накопление свинца и хрома в углях района, а также связи этих элементов с другими основными токсичными и потенциально токсичными элементами был выполнен корреляционный и регрессионный анализы концентраций рассматриваемых элементов с основными технологическими показателями, содержаниями токсичных и по-

тенциально токсичных элементов, а также петрографическим составом и особенностями углей. В целом по району установлено:

1. Свинец образует геохимическую ассоциацию с фтором (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,61, график регрессии на рис. 3), ванадием (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,67, график регрессии на рис. 4), никелем (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,80, график регрессии на рис. 5), кобальтом (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,48, график регрессии на рис. 6) и хромом (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,60, график регрессии на рис. 7). Линейные уравнения регрессии, характеризующие связи свинца с входящими в ассоциацию элементами:

$$Pb = 0,21229 + 0,82268 \cdot F; Pb = 0,09892 + 0,81803 \cdot V;$$

$$Pb = 0,01098 + 0,87360 \cdot Ni; Pb = 0,21686 + 0,75878 \cdot Co$$

$$Pb = 0,08419 + 0,90428 \cdot Cr$$

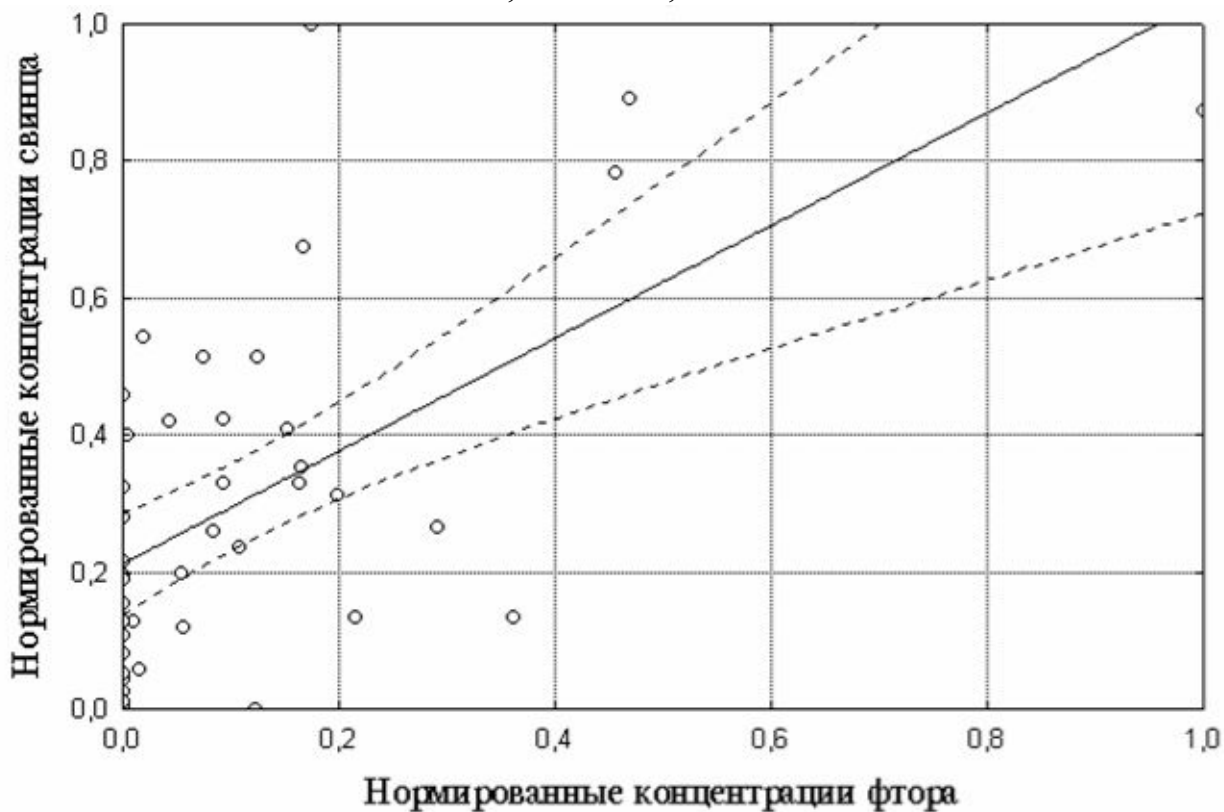


Рис. 3. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и фтора в угле в основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского района

2. Хром формирует геохимическую ассоциацию с фтором (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,69, график регрессии на рис. 8), свинцом (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,60, график регрессии на рис. 9), никелем (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,65, график регрессии на рис. 10) и кобальтом (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,44, график регрессии на рис. 11). Линейные уравнения регрессии хрома с входящими в ассоциацию элементами:

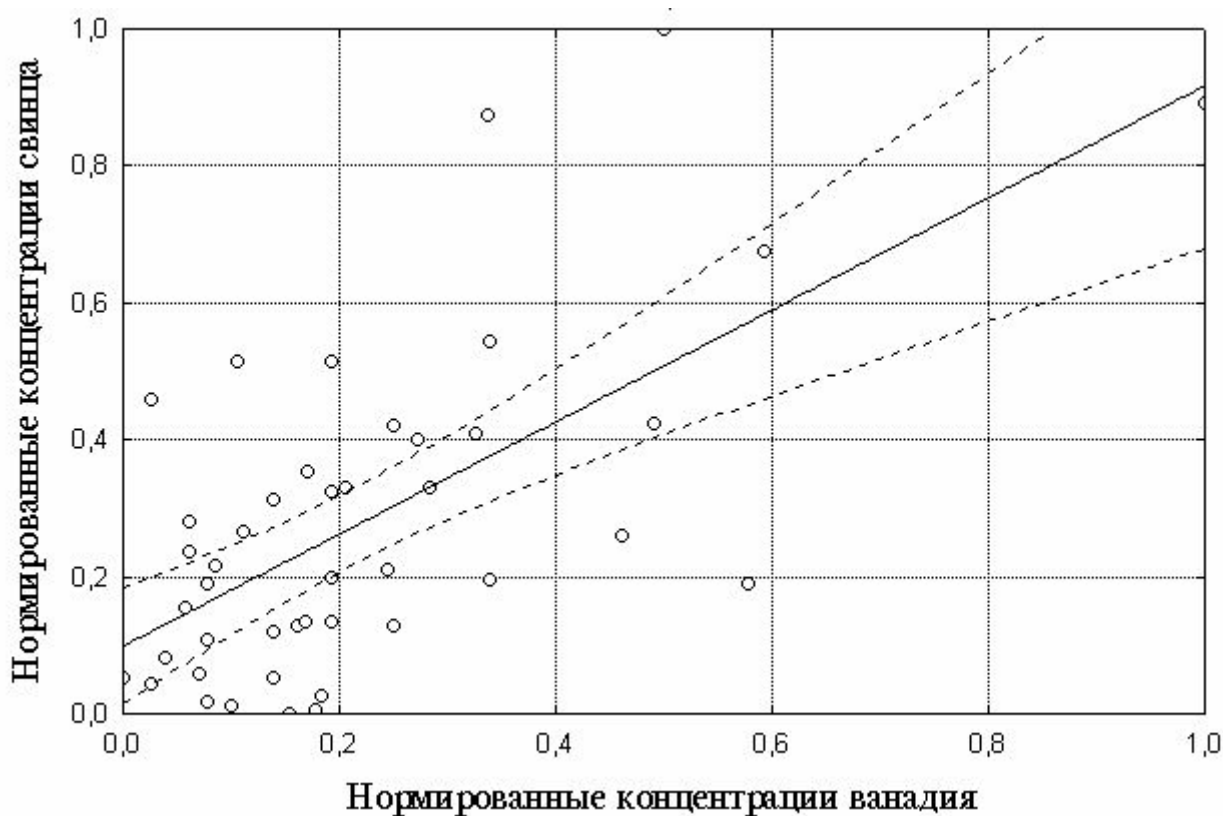


Рис. 4. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и ванадия в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

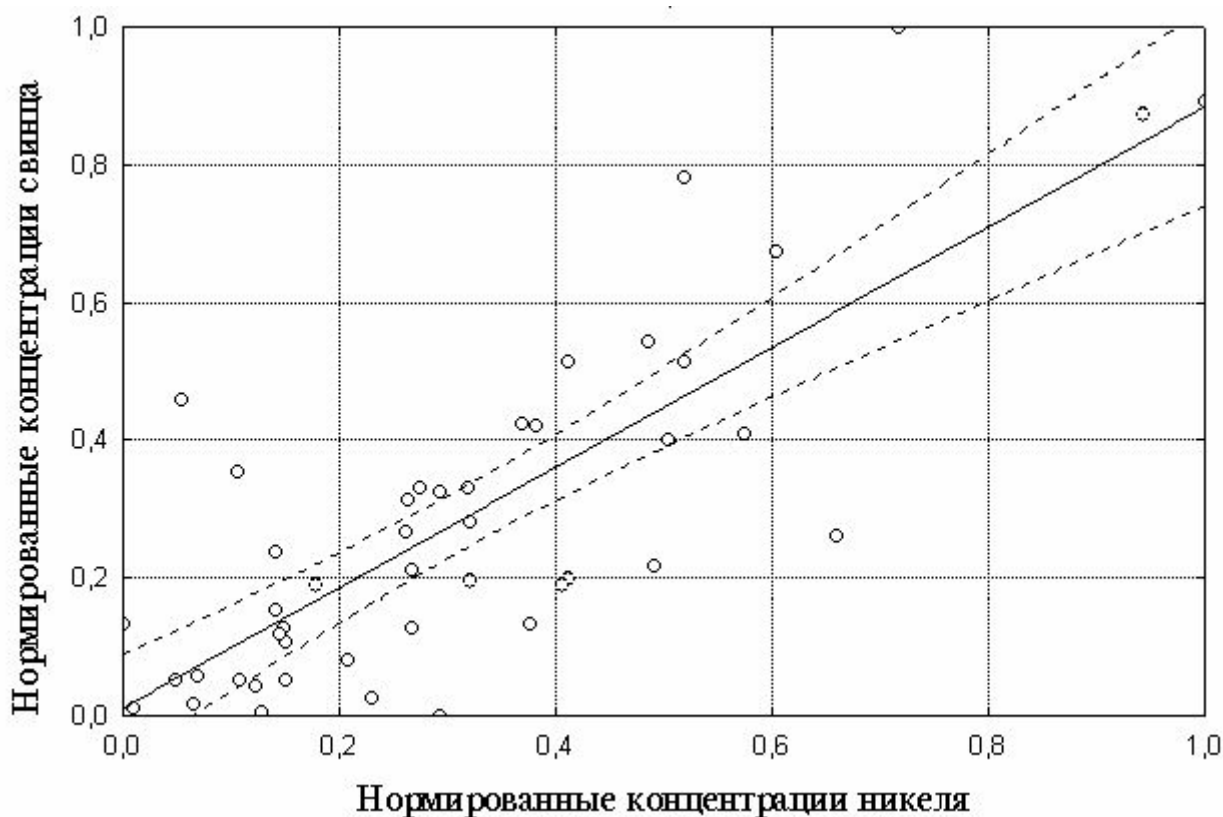


Рис. 5. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и никеля в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

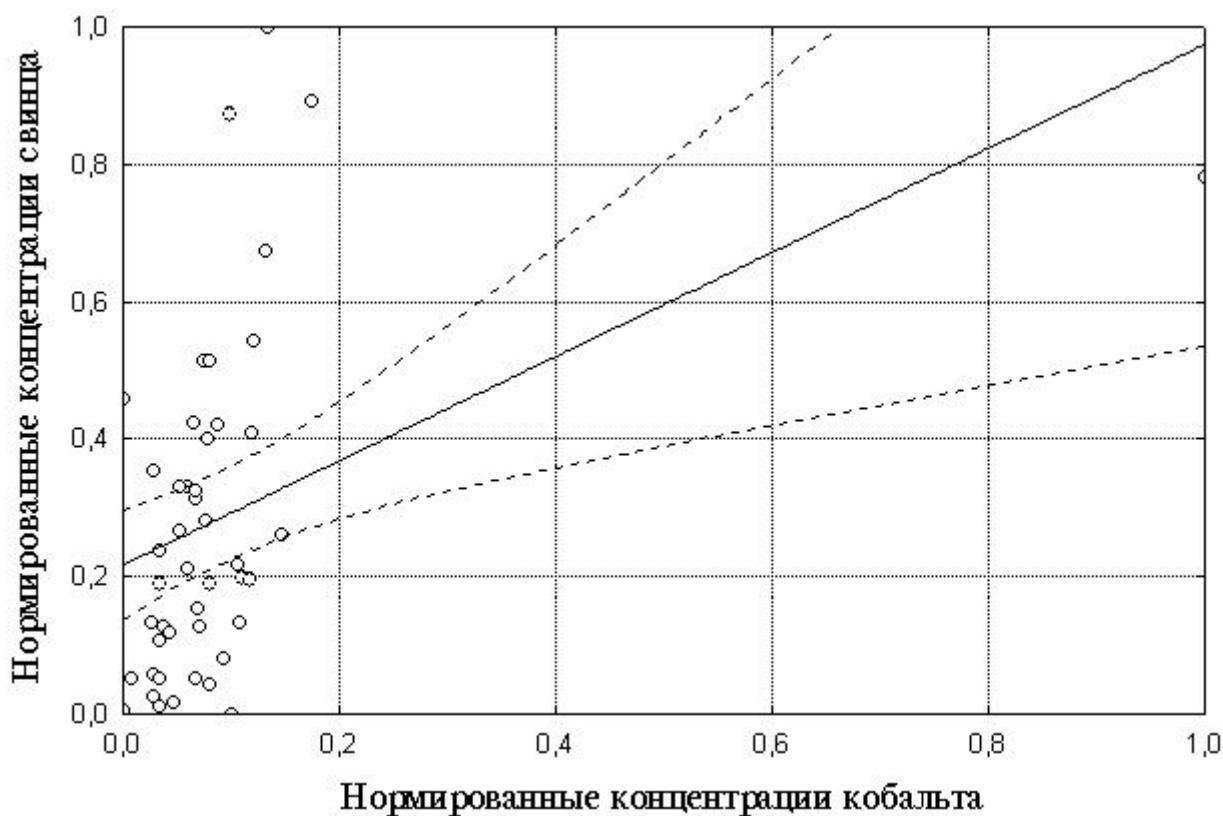


Рис. 6. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и кобальта в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

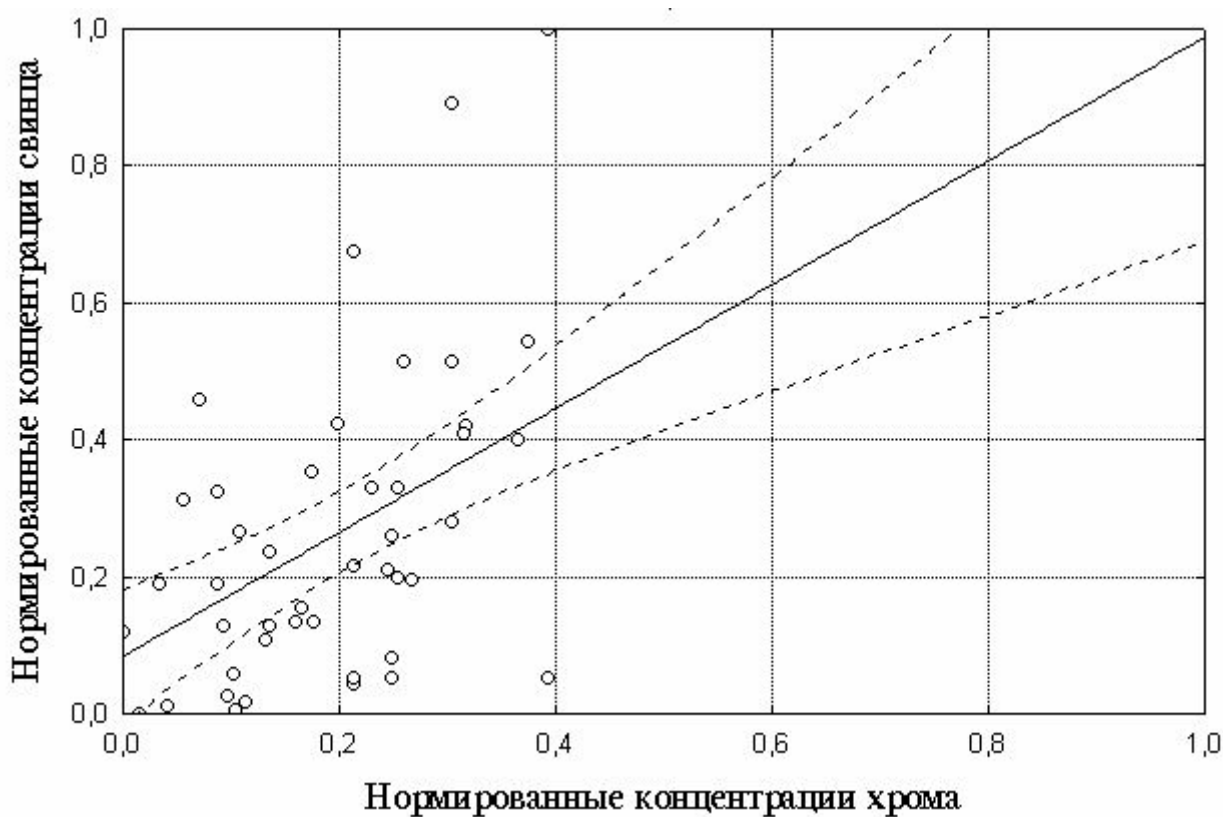


Рис. 7. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и хрома в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

$$Cr = 0,14233 + 0,61577 \cdot F; Cr = 0,10193 + 0,39447 \cdot Pb;$$

$$Cr = 0,07077 + 0,45027 \cdot Ni; Cr = 0,08765 + 1,7516 \cdot Co.$$

3. В целом по району статистически значимая связь содержаний свинца и хрома с сернистостью, зольностью и петрографическим составом углей отсутствует, в то время как для пластов, формирующих кластеры 1.2 и 2 (по содержанию свинца), выявлена значимая положительная связь содержаний этих элементов с количеством диагенетической сульфидной минерализацией, зольностью, содержанием глинистых минералов и фюзенизированных микрокомпонентов.

4. На площади большинства участков пластов с повышенными концентрациями кобальта и ванадия (с использованием метода Червякова В.А. [8]) выявлена значимая положительная корреляционная связь этих элементов с содержанием СаО и TiO₂ в составе золы углей.

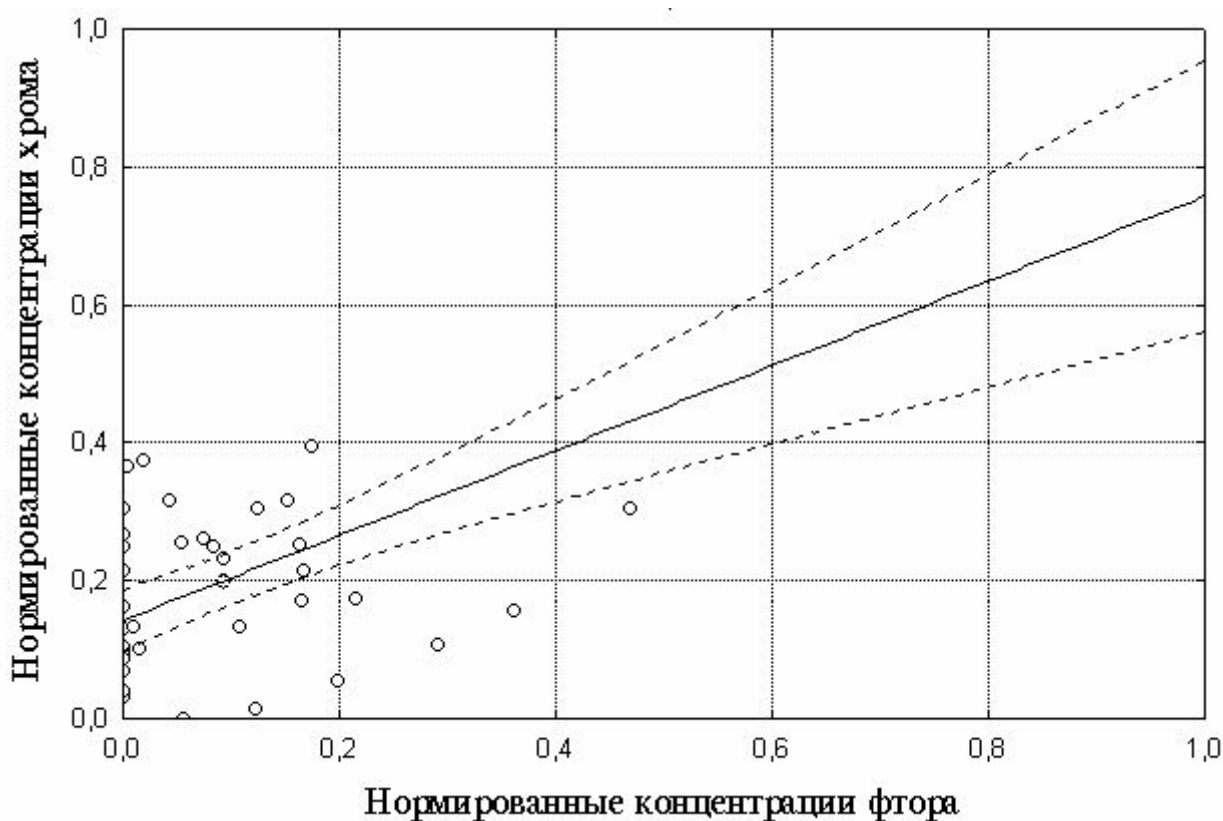


Рис. 8. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и фтора в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

5. В целом по району во всех исследованных пластах наблюдается незначительное увеличение содержания свинца и хрома с ростом степени углефикации угля.

6. В угле всех рассматриваемых пластов концентрации свинца и хрома незначительно возрастают на участках с повышенной трещиноватостью, которые непосредственно примыкают к зонам разрывных нарушений.

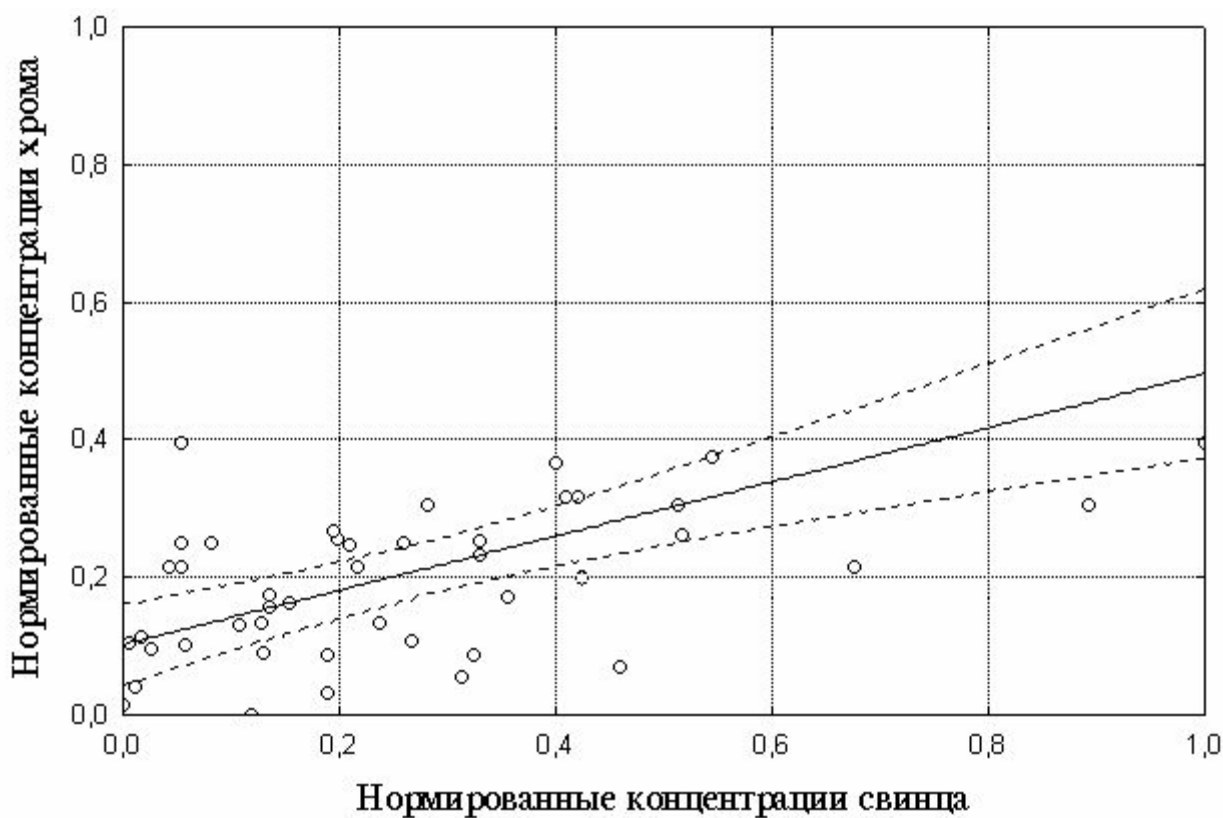


Рис. 9. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и свинца в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

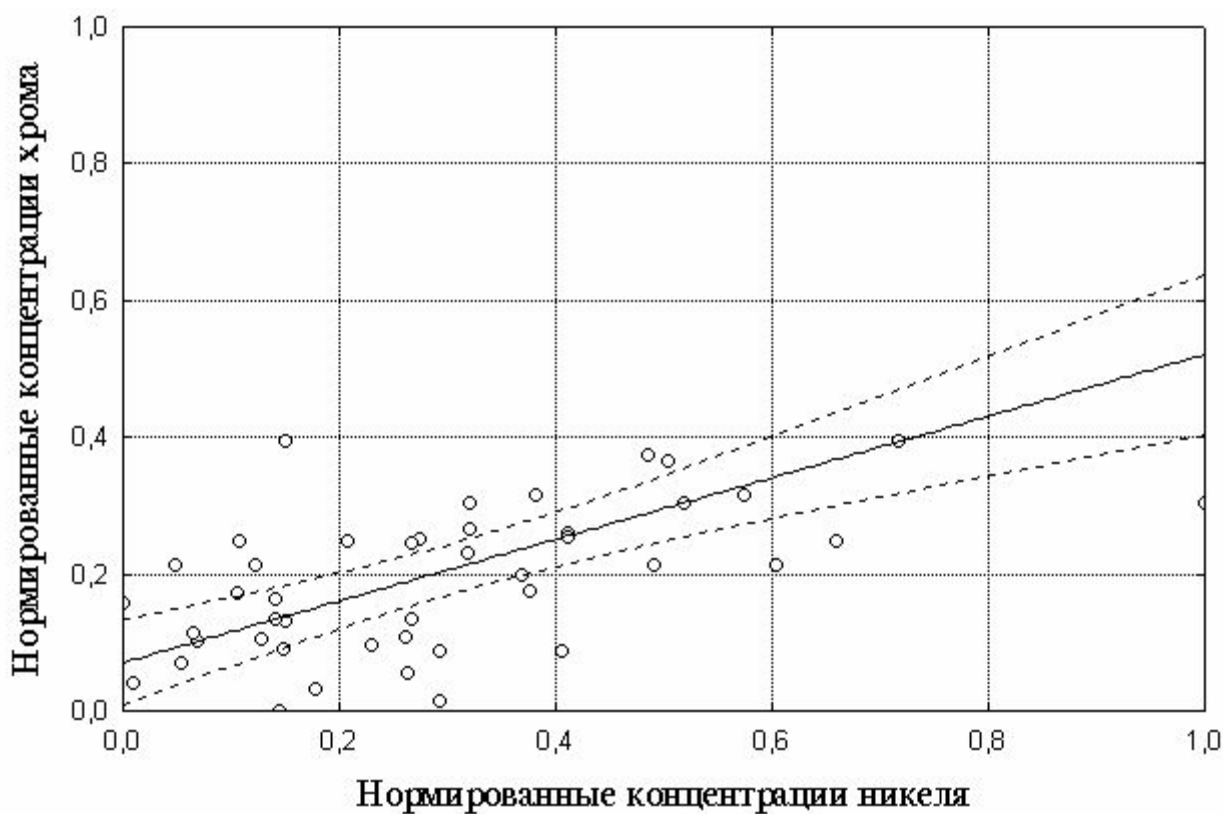


Рис. 10. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и никеля в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

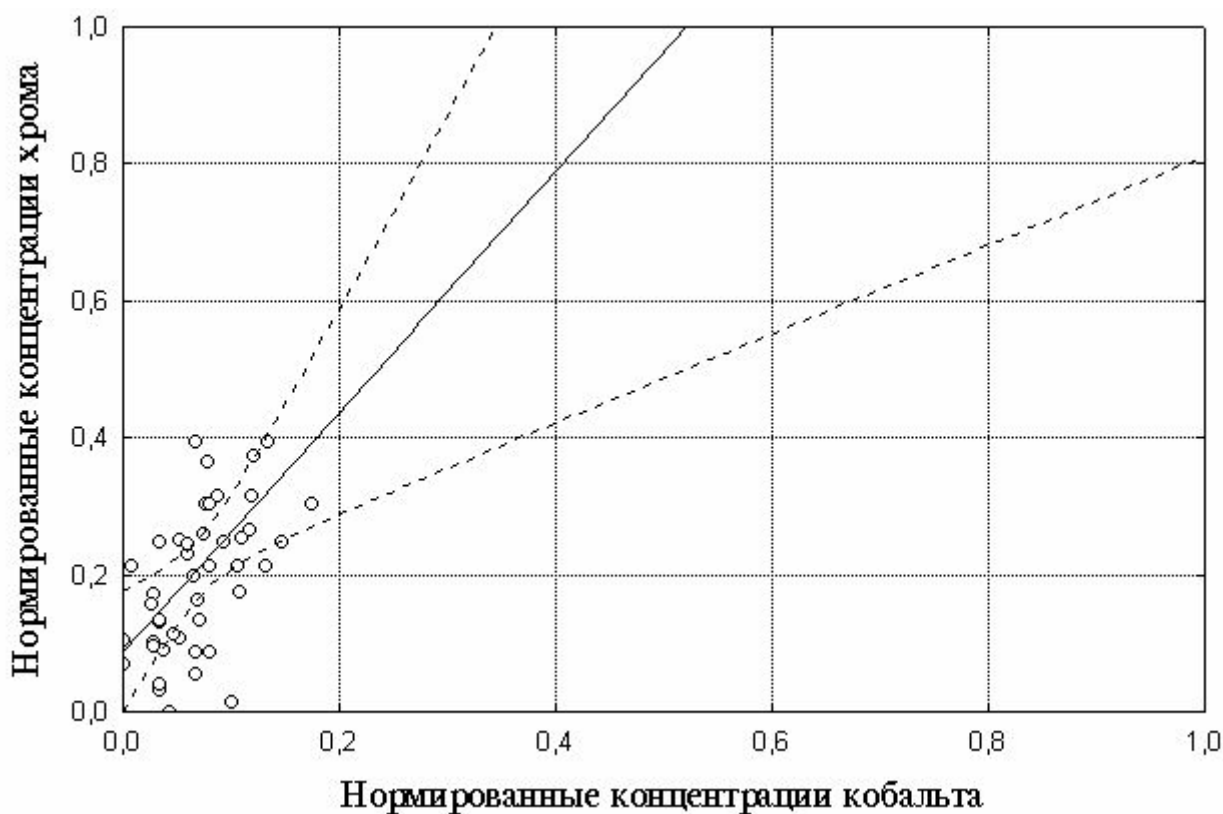


Рис. 11. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и кобальта в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района

7. Содержания свинца и хрома в угле всех пластов района статистически связаны обратной зависимостью с их мощностью. Причем, обычно в разрезе пластов наблюдается резкое увеличение концентрации этих элементов в прикровельной части.

8. Существенное влияние на содержания свинца и хрома в углях района оказывают литолого-фациальные особенности пород непосредственной кровли пластов. Их концентрации существенно возрастают при перекрытии пластов песчаниками, известковыми аргиллитами, алевролитами, относящимися к прибрежно-морским фациям, или известняками.

9. Угли с повышенными концентрациями свинца и хрома при одинаковой степени углефикации статистически значимо отличаются большей спекаемостью, теплотой сгорания, выходом смолы коксования и полукоксования, повышенным выходом летучих веществ, меньшей механической прочностью, степенью разложения гелифицированного вещества и в целом являются более восстановленными.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы:

✓ Из всех исследованных пластов только средневзвешенные содержания свинца в угле пластов l_1^1 , k_3^1 , k_3^H , k_7^1 и хрома в угле пласта l_1 превышают ПДК.

✓ Для углей района типоморфной является геохимическая ассоциация свинца с фтором, ванадием, никелем, кобальтом, хромом и хрома с фтором,

свинцом, никелем и кобальтом. Установленная значимая положительная корреляционная связь свинца и хрома с содержанием СаО и TiO₂ в составе золы углей, а также их участие в характерной «ванадиевой» геохимической ассоциации элементов-примесей позволяет предположить, что доминирующей формой свинца и хрома в углях района является органическая. Возможность ее существования доказана экспериментально [9]. В то же время выявленная положительная статистическая связь содержания этих элементов в угле пластов, формирующих кластеры 2, с количеством диагенетической сульфидной минерализацией, зольностью, содержанием глинистых минералов, а также фюзенизированных микрокомпонентов свидетельствует о реальности вклада минеральной и сорбционной формы в их накопление.

✓ Накопление основной части кобальта и ванадия содержащегося в углях района, происходило на стадиях торфонакопления и раннего диагенеза.

✓ Приуроченность повышенных концентраций рассматриваемых элементов к прикровельной части пласта, связь их содержания с литолого-фациальными особенностями пород непосредственной кровли, степенью восстановления угля, а также присутствие в их геохимической ассоциации фтора (с его значительной талассофильностью) свидетельствует об их преимущественном поступлении в бассейн торфонакопления из морских вод в процессе быстрой трансгрессии.

✓ Обратная статистическая связь концентраций кобальта и ванадия в угле пластов с их мощностью также указывает на большую тектоническую подвижность области торфонакопления.

Основное научное значение полученных результатов заключается в расчете средневзвешенных концентраций этих элементов в углях основных пластов и свит, выявление состава и характера их типоморфных геохимических ассоциаций, а также установление причин и особенностей их накопления в углях района.

Основное практическое значение полученных результатов состоит в классификации угольных пластов района по содержанию свинца и хрома, а также в расчете уравнений регрессии между элементами, входящими в их геохимические ассоциации.

Список литературы

1. Ишков В.В., Чернобук А.И., Дворецкий В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. // Научный вісник НГАУ. 2001. - №5. - С. 84-86.

2. Ишков В.В., Чернобук А.И., Михальчонок Д.Я. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. // Научный вісник НГАУ. -2001. – №4. – С. 89-90.

3. Ишков В.В., Лозовой А.Л. О закономерностях распределения токсичных и потенциально токсичных элементов в угольных пластах Павлоград-Петропавловского района. // Научный вісник НГАУ. -2001. - №2.– С. 57-61.

4. Ишков В.В. Кобальт и ванадий в угле основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района Донбасса // Научный вісник НГУ. –2009. - №10. – С. 48-53.

5. Гавришин А.И. Оценка и контроль качества геохимической информации. -М.: Недра, 1980. – 287с.
6. Беус А.А. Геохимия литосферы. – М.: Недра, 1981. – 335с.
7. Ишков В.В., Сердюк Е.А., Слипенький Е.В. Особенности применения методов кластерного анализа для классификации угольных пластов по содержанию токсичных и потенциально токсичных элементов (на примере Красноармейского геолого-промышленного района) // Сб. науч. тр. НГУ. -2003. - №19, Т.1. - С. 5-16.
8. Червяков В.А. Концентрация поля в современной картографии. – М.: Наука, 1978. – 149 с.
9. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М.: Наука, 1964. – 315 с.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Нагорним В.М.
Надійшла до редакції 14.03.2012*

УДК 628.334.5:519.6

© Н. Н. Беляев, Е. К. Нагорная

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ И ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ОТСТОЙНИКЕ

Представлены результаты численного моделирования массопереноса в вертикальном отстойнике.

Представлені результати чисельного моделювання масопереносу в вертикальному відстійнику.

The results of the numerical modeling of the mass transfer in the vertical settler are presented.

Введение. Одним из важных элементов в системах очистки воды являются отстойники и, в частности, вертикальные отстойники. В настоящее время, в Украине, для расчета этих очистных сооружений применяются модели (балансовые [1], регрессионные [2], одномерные кинематические [3,4]), которые не учитывают геометрическую форму отстойника и другие его конструктивные особенности. Поэтому использование таких моделей на практике ограничивает возможности инженеров при обосновании проектных параметров очистных сооружений. За рубежом для расчета отстойников, кроме балансовых, одномерных кинематических моделей, также используют 3D численные модели, в которых для расчета поля скорости в отстойнике применяются уравнения Навье-Стокса. Реализация этих CFD моделей требует применения очень мелкой сетки, а следовательно - больших временных затрат на получение результата. Кроме этого, стоимость 3D расчета очень велика - более 20 тысяч долларов [5]. Столь высокая стоимость расчета является причиной того, что за рубежом инженеры калибруют *одномерные* кинематические модели на 3D численных моделях, а потом эти одномерные модели используют при серийных расчетах, чтобы снизить стоимость проекта. В Украине многомерные CFD модели для расчета вертикальных отстойников – не разрабатываются. Поэтому, актуальной проблемой является разработка эффективных методов расчета вертикальных отстойников, основанных на применении 3D CFD моделей и позволяющих оперативно, с ма-