

## О РАСПРЕДЕЛЕНИИ СВИНЦА И ХРОМА В УГЛЕ ОСНОВНЫХ РАБОЧИХ ПЛАСТОВ АЛМАЗНО-МАРЬЕВСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

*В.В. Ишков, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»,  
Украина*

Рассмотрены особенности распределения Pb та Сг 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 Со и V с другими токсичными и потенциальными элементами в углях района.

Исследования распределения свинца и хрома в углях основных рабочих пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района Донбасса связаны с повышением требований к охране окружающей среды, обуславливающих потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержаний 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 получения такой информации в Национальном горном университете были выполнены детальные исследования, охватившие всю территорию Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района.

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 углеобогащительных 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 2009г. 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.

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.

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 геолого-разведочных организаций, в ряде случаев они дополнялись анализами пластово – дифференциро-

ванных 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 определений 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.

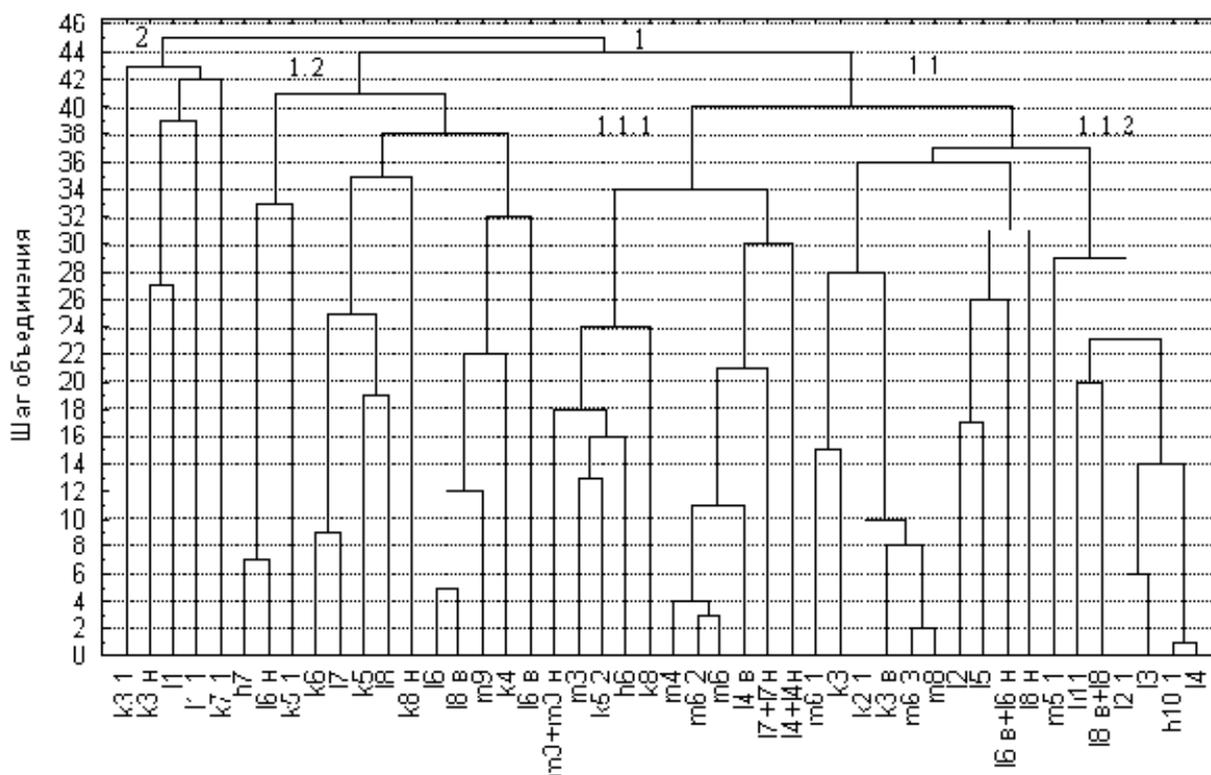


Рис.1. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района по содержанию свинца в угле.

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 11, 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 11 с аномально высокой средне взвешенной концентрацией – 56,6 г/т.

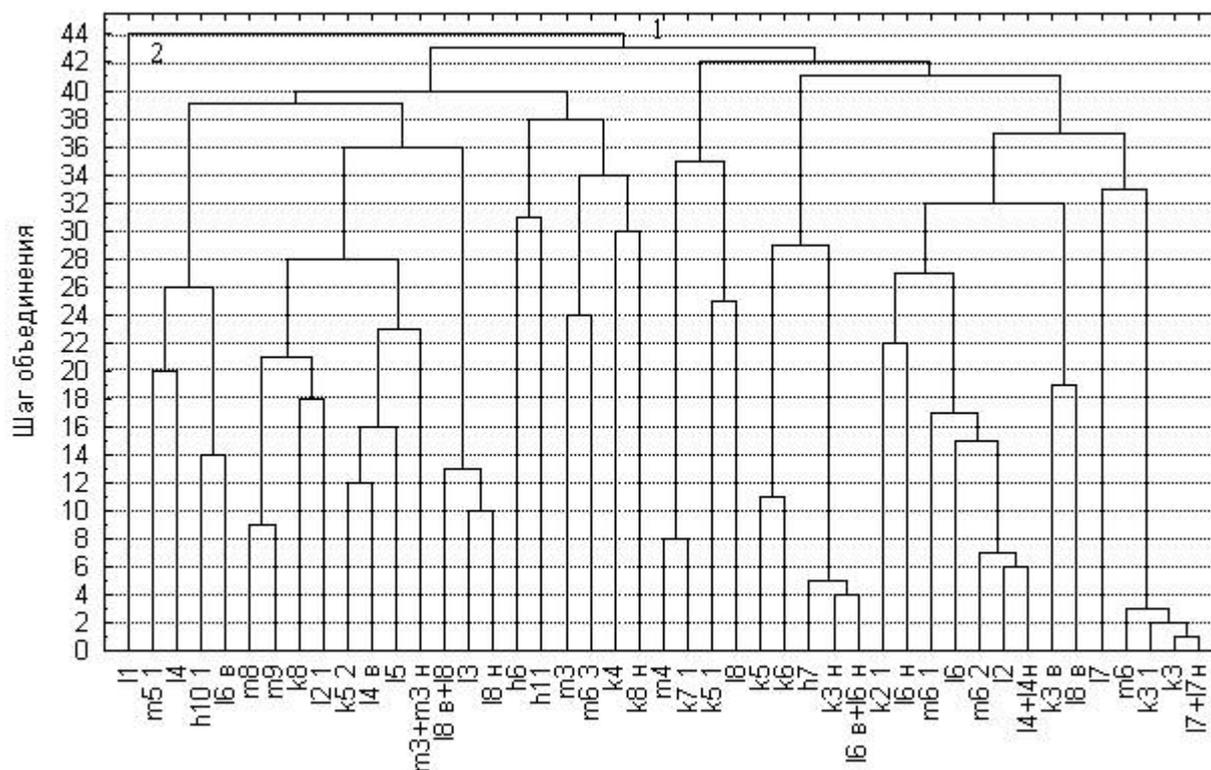


Рис.2. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Алмазно-Марьевского геолого-промышленного района по содержанию хрома в угле.

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 потенциально 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:

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,21229 + 0,82268 \cdot F; & Pb &= 0,09892 + 0,81803 \cdot V; \\
 Pb &= 0,01098 + 0,87360 \cdot Ni; & Pb &= 0,21686 + 0,75878 \cdot Co \\
 Pb &= 0,08419 + 0,90428 \cdot Cr.
 \end{aligned}$$

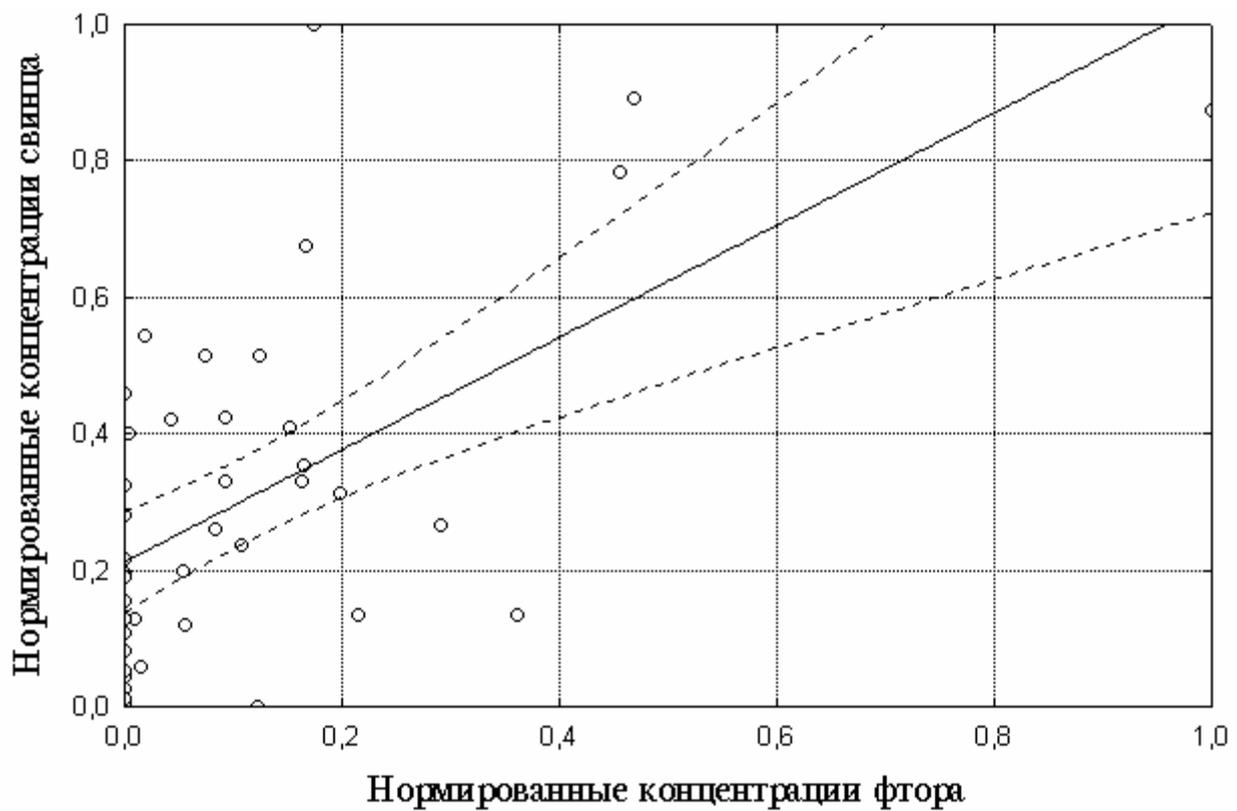


Рис.3. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и фтора в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

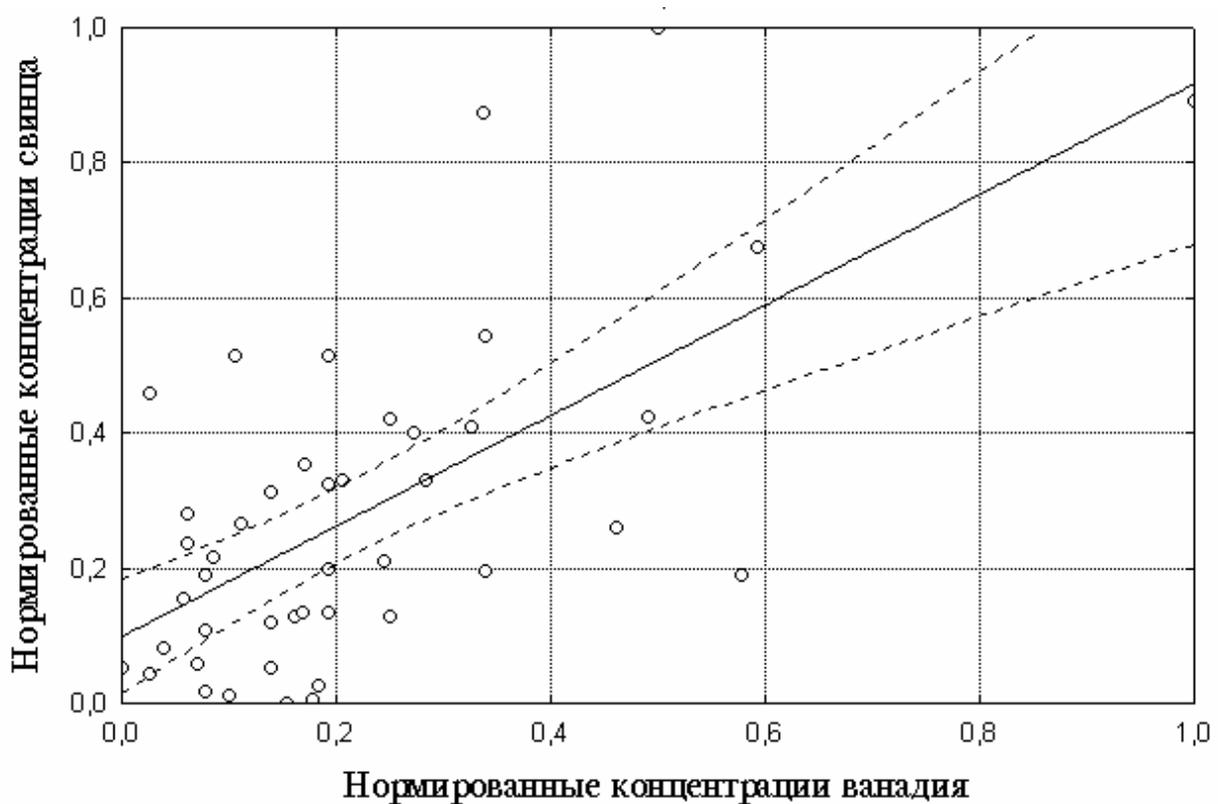


Рис.4. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и ванадия в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

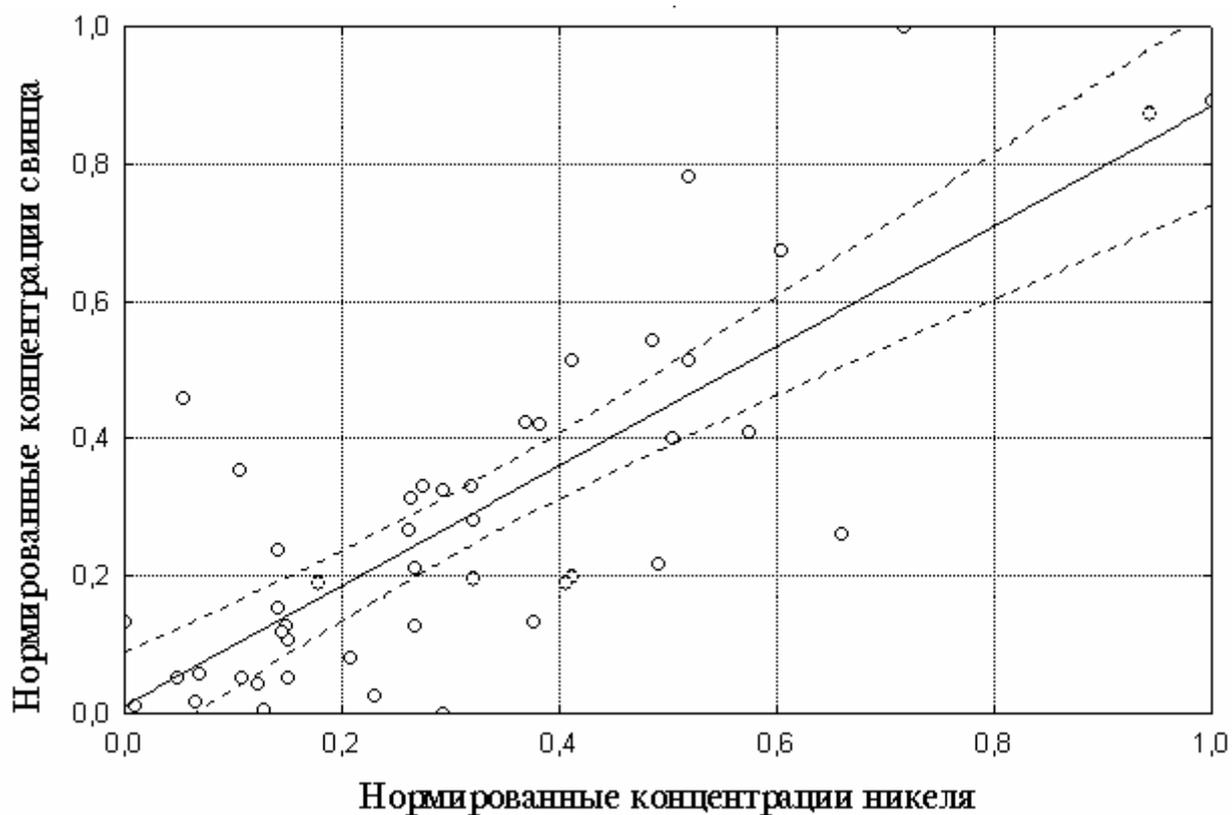


Рис.5. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и никеля в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

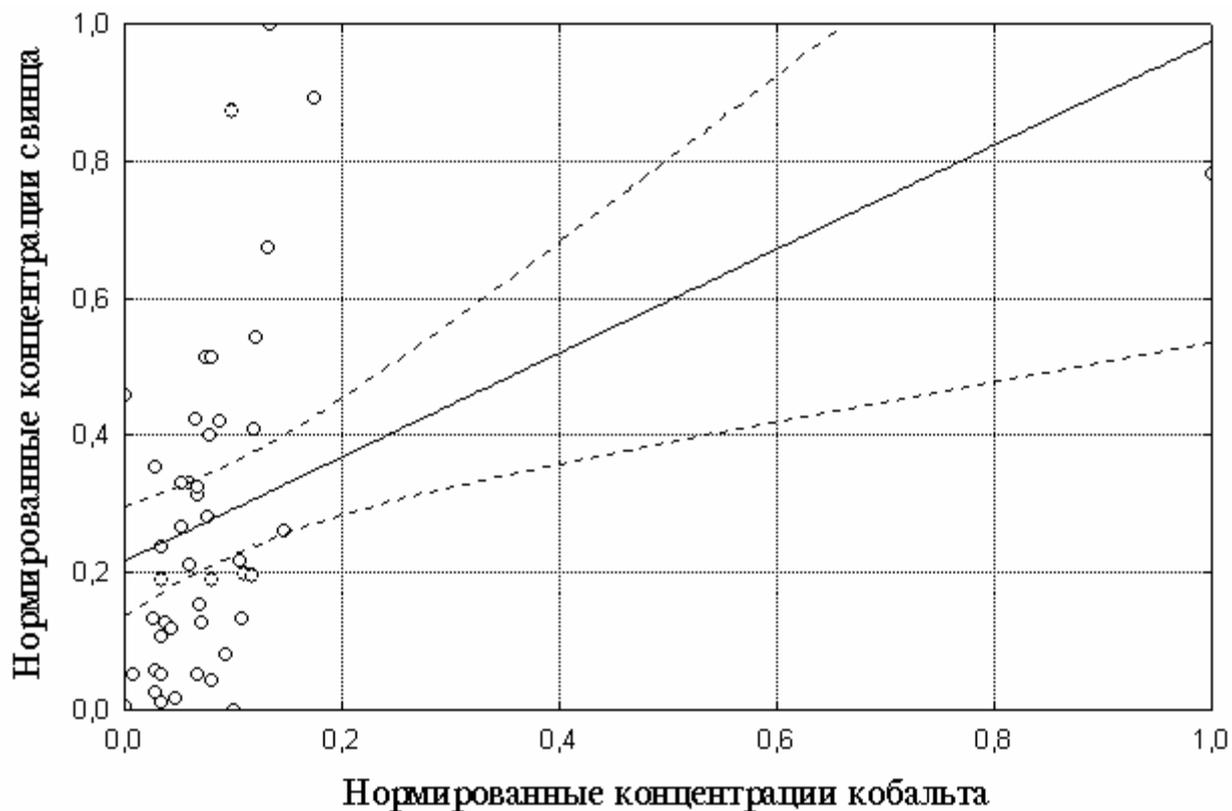


Рис.6. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и кобальта в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

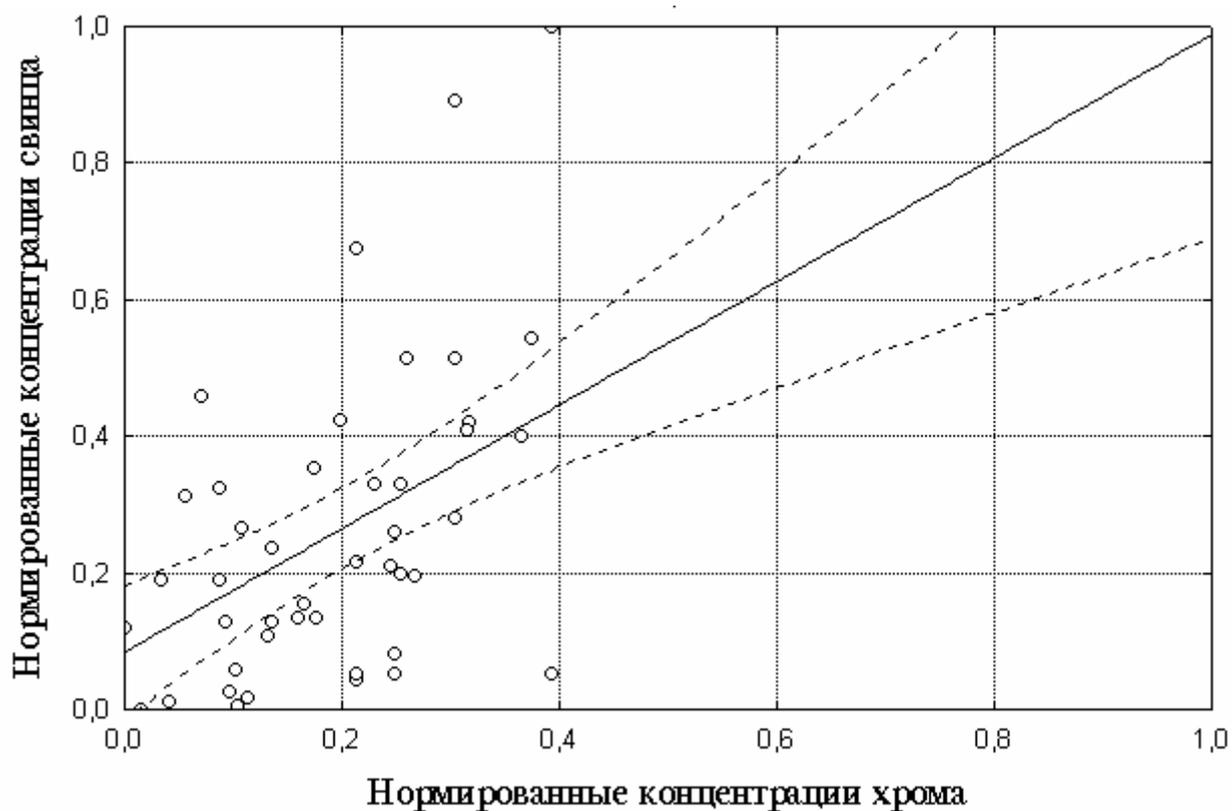


Рис. 7. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями свинца и хрома в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

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:

$$\text{Cr} = 0,14233 + 0,61577 \cdot \text{F}; \quad \text{Cr} = 0,10193 + 0,39447 \cdot \text{Pb};$$

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

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  $\text{CaO}$  и  $\text{TiO}_2$  в составе золы углей.

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.

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.

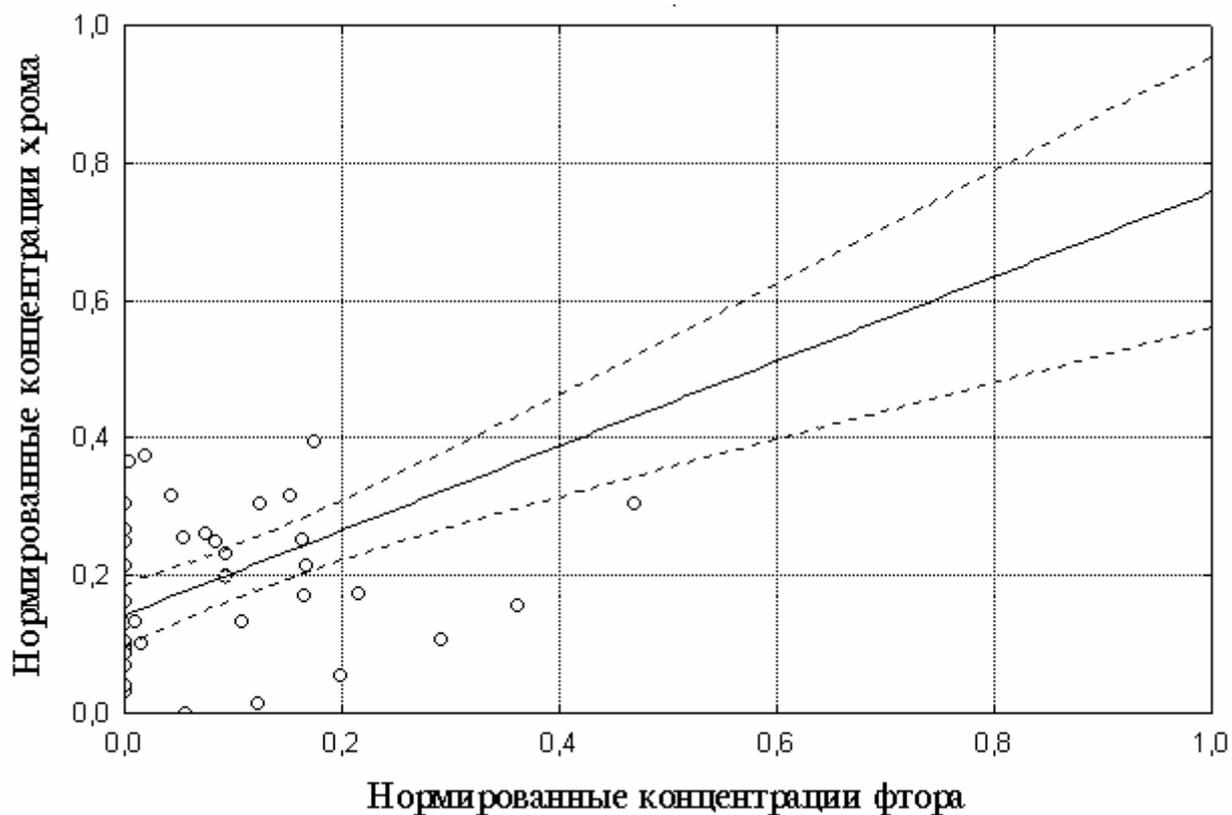


Рис.8. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и фтора в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

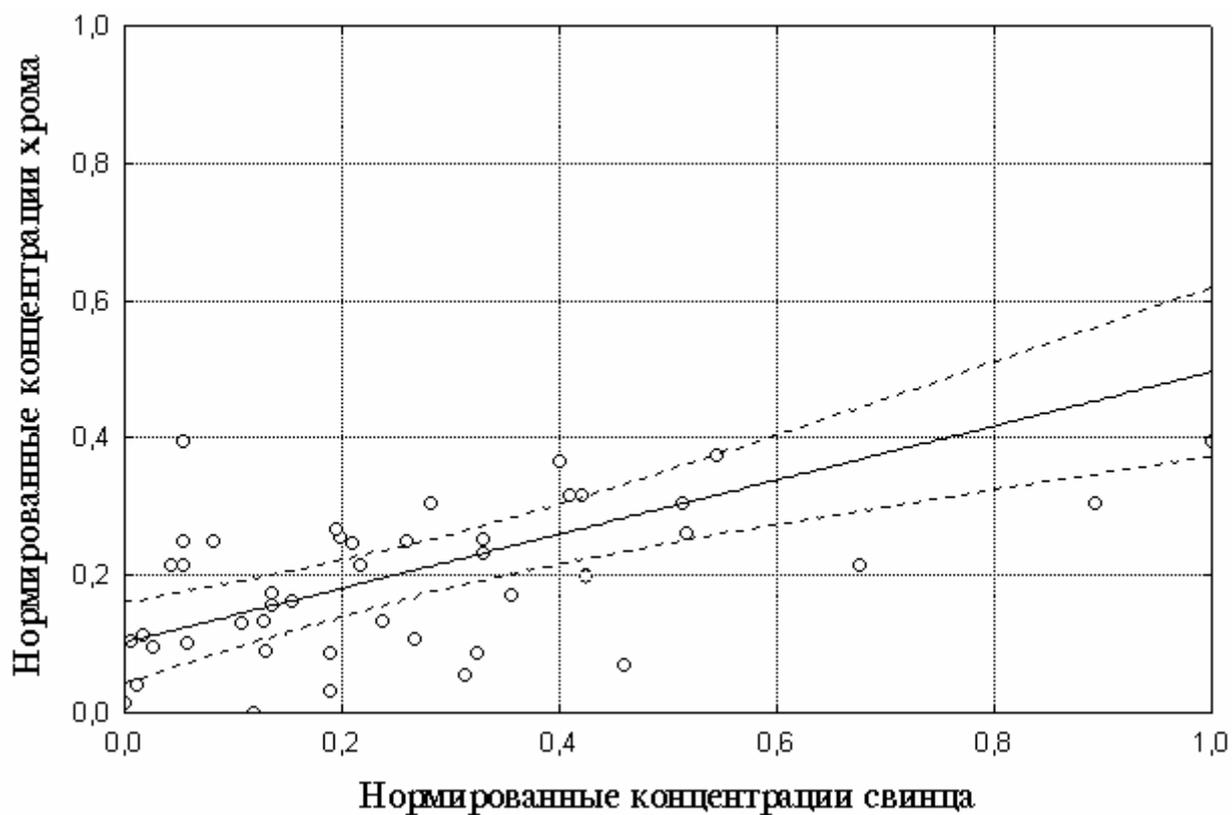


Рис.9. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и свинца в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

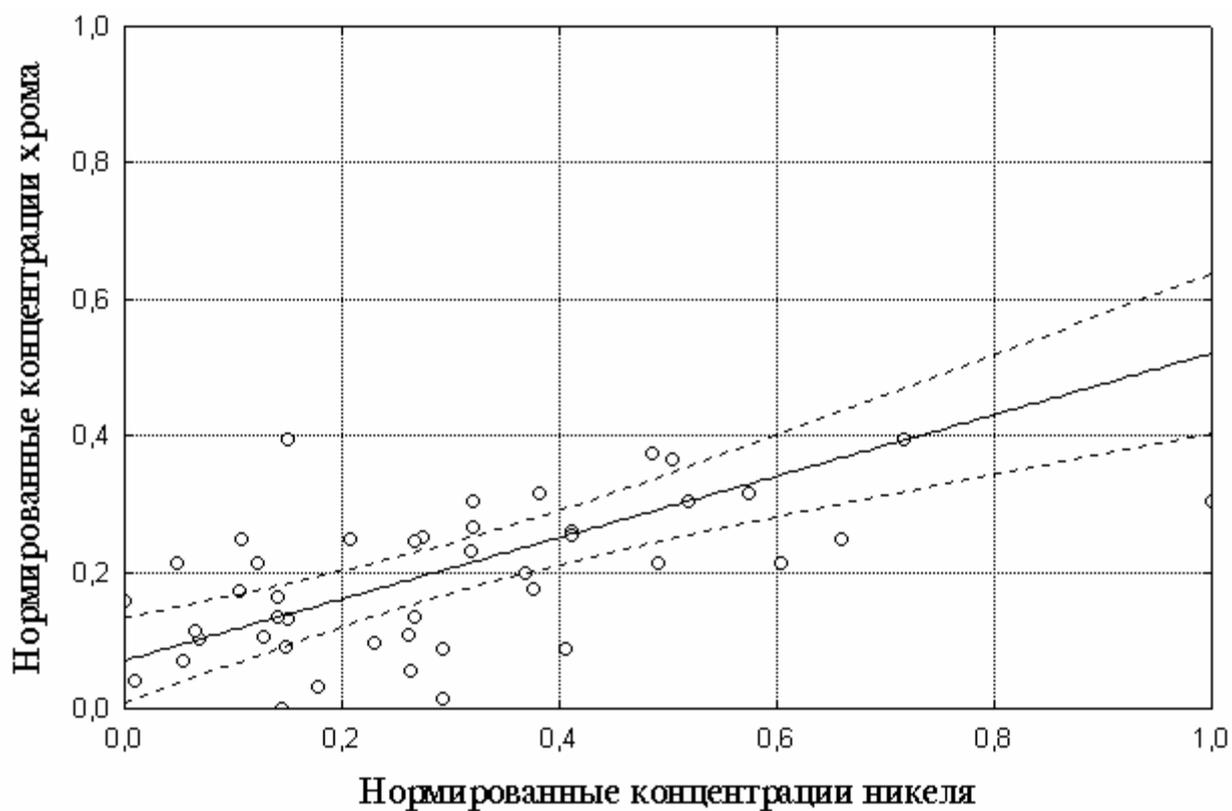


Рис.10. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и никеля в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

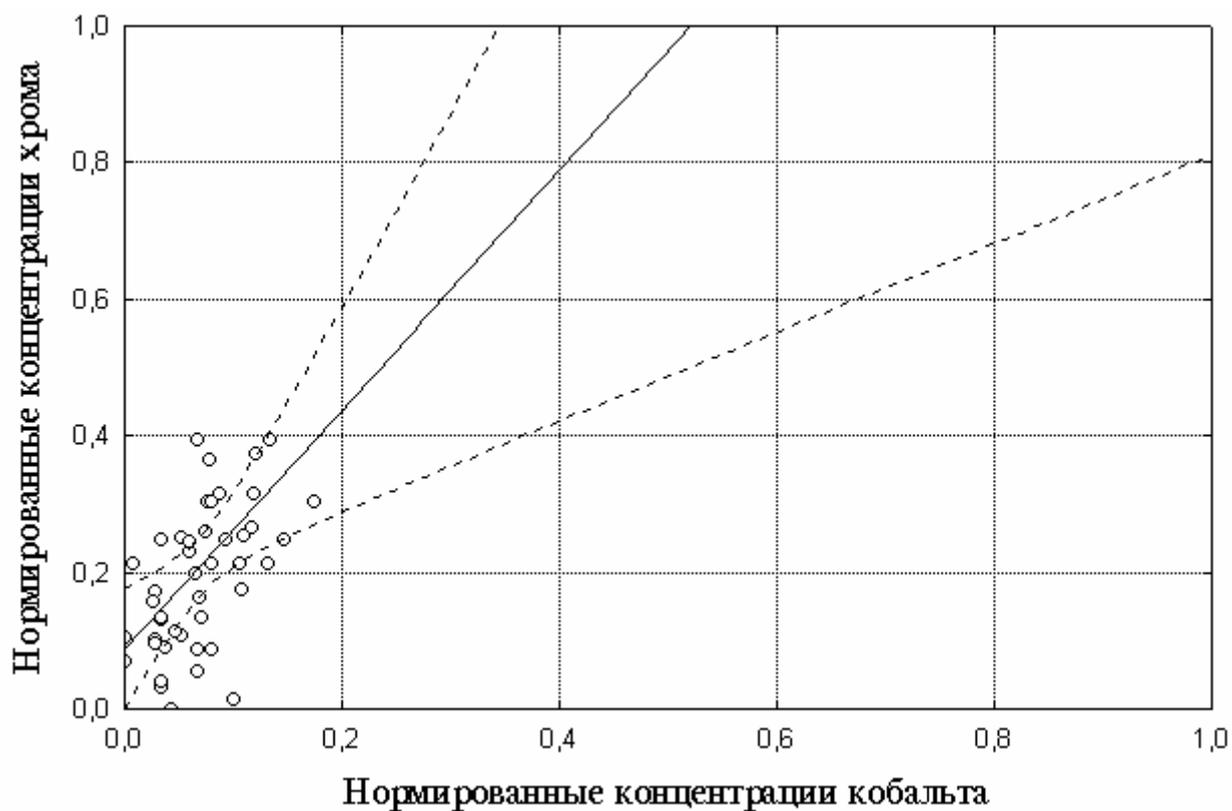


Рис. 11. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями хрома и кобальта в угле в основных рабочих пластах Алмазно-Марьевского района.

8. Существенное влияние на содержания свинца и хрома в углях района оказывают литолого-фациальные особенности пород непосредственной кровли пластов. Концентрации этих

элементов существенно возрастают при перекрытии пластов песчаниками, известковыми ар-гиллитами, алевролитами, относящимися к прибрежно-морским фациям, или известняками.

9. Угли с повышенными концентрациями свинца и хрома при одинаковой степени угле-фикации статистически значимо отличаются большей спекаемостью, теплотой сгорания, вы-ходом смолы коксования и полукоксования, повышенным выходом летучих веществ, мень-шей механической прочностью, степенью разложения гелифицированного вещества и в це-лом 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 содержи-мом СаО и TiO<sub>2</sub> в составе золы углей, а также их участие в характерной «ванадиевой» геохи-мической ассоциации элементов-примесей позволяет предположить, что доминирующей формой свинца и хрома в углях района является органическая. Возможность ее существова-ния доказана экспериментально [9]. В то же время выявленная положительная статистиче-ская связь содержаний этих элементов в угле пластов, формирующих кластеры 2, с количе-ством 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, про-исходило на стадиях торфонакопления и раннего диагенеза.

✓ Приуроченность повышенных концентраций рассматриваемых элементов к прикровельной части пласта, связь их содержаний с литолого-фациальными особенностями пород непосред-ственной кровли, степенью восстановленности угля, а также присутствие в их геохимической ас-социации фтора (с его значительной талассофильностью) свидетельствует об их преимуществен-ном поступлении в бассейн торфонакопления из морских вод в процессе быстрой трансгрессии.

✓ Обратная статистическая связь концентраций свинца и хрома в угле пластов с их мощно-стью 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 осо-бенностей 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 ре-грессии между элементами, входящими в их геохимические ассоциации.

#### Список литературы

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

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

3. Ишков В.В., Лозовой А.Л. О закономерностях распределения токсичных и потенциа-льно токсичных элементов в угольных пластах Павлоград-Петропавловского района. // Науко-вий 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 // Науковий 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 кластер-ного анализа для классификации угольных пластов по содержанию токсичных и потен-циально 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.