

# ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

---

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*К.г.-м.н. Е.П. Янин*

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
г. Москва  
yanin@geokhi.ru

В обзоре рассматриваются основные аспекты влияния разработки угольных месторождений на окружающую среду.

Введение

Ресурсы, основные месторождения и добыча угля в России

Способы разработки месторождений

Общая характеристика углей

Общее воздействие добычи угля на окружающую среду

Воздействие на атмосферу и почвы

Сброс сточных вод и загрязнение поверхностных вод

Изменение гидрогеологических условий и загрязнение подземных вод

Влияние ликвидации шахт на окружающую среду

Влияние отходов угледобычи на окружающую среду

Проблема угольных пожаров

Радиационная безопасность

Проблема метана и газоносности углей

Заключение

Литература

### **Введение**

Активное использование ископаемых углей в различных отраслях промышленности требует решения целого ряда экологических и технологических проблем, возникающих, в том числе, в ходе их добычи. Среди них – выбросы метана, сопутствующего углям, образование в огромных количествах твердых отходов, нарушение целостности земной поверхности и недр, сбросы высокоминерализованных шахтных сточных вод, неблагоприятное влияние на окружающую среду (воздух, воды, почвы и др.) разнообразных химических элементов и их соединений, выделяющихся окружающую среду в результате добычных и сопутствующих им работ. В настоящем обзоре рассматриваются важнейшие особенности влияния на окружающую среду и ее основные компоненты разработки российских угольных месторождений.

## Ресурсы, основные месторождения и добыча угля в России

В недрах нашей страны сосредоточена треть ресурсов угля и пятая часть мировых разведанных запасов угля – 193,3 млрд. т. Более половины российских запасов (101,2 млрд. т) приходится на бурые угли. Запасы каменного угля составляют 85,3 млрд. т (в т.ч. 39,8 млрд. т коксующегося) [78]. Сырьевая база российских углей представлена практически всеми известными марками различных технологических свойств [23]. Месторождения углей имеются во многих регионах страны (рис. 1, 2). По качественным параметрам угли основных месторождений относятся к высокосортным, с высокой теплотой сгорания и незначительным содержанием золообразующих компонентов (10–20%) и серы (до 1–1,5%). Свыше 80% запасов угля категорий А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> (221 млрд. т) разведано в Сибири. Доля бурых углей в этом объеме достигает почти 56%, остальные запасы относятся к каменным углям (43,3%) и антрацитам. Имеются крупные ресурсы углей для нетрадиционного использования – производства искусственного жидкого горючего, извлечения из углей и угленосных отложений газа метана, производства электродных и футеровочных материалов, углеродных адсорбентов, гуминовых препаратов и других ценных продуктов [56].

Основные задачи и направления геологоразведочных работ состоят в проведении дальнейших разведочных работ в угольных бассейнах, периодической переоценке перспектив регионов, где ожидается появление новых потребителей с целью перехода на местное топливо взамен привозного [56].



Рисунок 1. Распределение запасов угля и его ресурсов категории Р<sub>1</sub> по угольным бассейнам Российской Федерации, млрд. т [23].



Рисунок 2. Распределение запасов углей и их ресурсов категории P<sub>1</sub> по субъектам Российской Федерации, млрд. т [23].

В пределах Российской Федерации известно 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений угля [78]. Характеристика основных угольных бассейнов России приведена в табл. 1. Кроме того, значительную часть Красноярского края занимает Тунгусский каменноугольный бассейн (площадь 1000 тыс. км<sup>2</sup>) с запасами 4,5 млрд. т, освоение которого ограничено сложными климатическими условиями. В Арктической зоне расположен малоизученный Таймырский бассейн. Запасы Улугхемского бассейна на территории Республики Тыва практически полностью представлены премиальными марками коксующихся углей, они разведаны в количестве 3,6 млрд т. Однако масштабное освоение бассейна сдерживается отсутствием развитой транспортной инфраструктуры. Завершение строительства железной дороги Курагино-Кызыл и освоение крупнейшего Элегестского месторождения с угольными запасами 855 млн т даст импульс развитию угольной отрасли региона. В промышленных масштабах запасы каменных и бурых углей разведаны в месторождениях Забайкальского края (3,2 млрд. т) и Республики Бурятия (2,6 млрд. т). В месторождениях Дальнего Востока сосредоточено около 11% запасов угля страны или 29,5 млрд. т. В сложных для освоения природных и инфраструктурных условиях находится Ленский бассейн (площадь 600 тыс. км<sup>2</sup>), потенциал которого достаточно велик. Остальные запасы углей Дальнего Востока локализованы в бассейнах меньшего масштаба (Бурейнский, Партизанский, Раздольненский, Угловский) или в отдельных месторождениях. В европейской части страны и на Урале разведано также некоторое количество запасов в основном бурых углей, значение которых невелико. Учитываемые Государственным балансом запасы угля заключены в 1872 объектах (шахтах, разрезах, участках) [23]. Почти 80% запасов, переданных в освоение, находится в Сибирском федеральном округе, большая их часть — в Кемеровской области (60,7%) и Красноярском крае (18,5%).

## Основные угольные бассейны Российской Федерации [23]

| Угольный бассейн                                      | Тип углей* | Запасы, млрд. т    |                | Качество углей |         |                          | Добыча в 2015 г., млн. т |
|---|------------|--------------------|----------------|----------------|---------|--------------------------|--------------------------|
|   |            | А+В+С <sub>1</sub> | С <sub>2</sub> | Содержание, %  |         | Теплота сгорания, МДж/кг |                          |
|   |            |                    |                | золы           | серы    |                          |                          |
| Канско-Ачинский (Красноярский край, Кемеровская обл.) | Б, К       | 79,3               | 38,9           | 6-15           | 0,3-1   | 11,8-25,5                | 39                       |
| Кузнецкий (Кемеровская обл.)                          | К          | 54,6               | 14,7           | 10-16          | 0,3-0,8 | 22,8-36                  | 189                      |
| Иркутский (Иркутская обл.)                            | К, Б       | 7,6                | 4,6            | 7-15           | 1,5-5   | 17,6-223,6               | 10,6                     |
| Печорский (Республика Коми)                           | К          | 7                  | 0,5            | 8,5-25         | 0,5-1   | 24-29                    | 9,7                      |
| Донецкий (Ростовская обл.)                            | К          | 6,5                | 3,15           | 10,5-29        | 1,8-4,2 | 21-34                    | 3,6                      |
| Южно-Якутский (Республика Якутия – Саха)              | К          | 4,5                | 2,8            | 10-18          | 0,3-0,5 | 22-29                    | 13,9                     |
| Минусинский (Республика Хакасия)                      | К          | 5,1                | 0,4            | 6,6-29,7       | 0,5-0,6 | 20-25                    | 16,1                     |

\* К – каменные,  
Б – бурые.

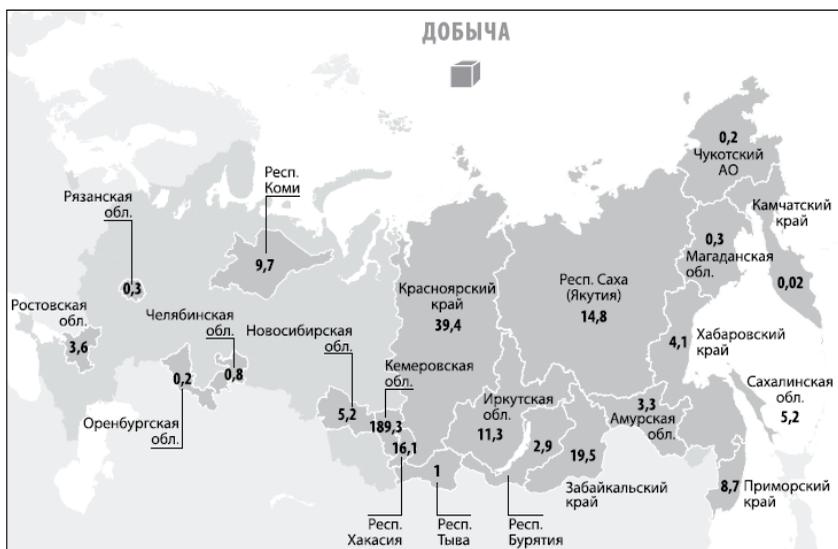


Рисунок 3. Распределение добычи угля по субъектам Российской Федерации в 2015 г., млн. т [23].

Валовая добыча углей в 2015 г. в РФ составила 373,4 млн. т, из которых более 189 млн. т – в Кемеровской области (рис. 3) [23].

Почти три четверти добываемых в стране углей – это твердое топливо; среди них на долю каменных углей энергетических марок приходится чуть менее половины суммарной добычи в стране, еще пятая часть – это бурые энергетические угли, антрациты составляют менее 5% российской угледобычи. Остальные извлекаемые из недр угли относятся к коксующимся сортам. Добыча угля ведется в семи федеральных округах, в 25 субъектах Российской Федерации [78]. Фонд действующих угледобывающих предприятий России по состоянию на 01.01.2016 г. насчитывал 192 предприятия (шахты – 71, разрезы – 121).

Крупнейший угледобывающий центр страны – Кузнецкий угольный бассейн (площадь 26,7 тыс. км<sup>2</sup>) включает четверть российских запасов категорий А+В+С<sub>1</sub>+С<sub>2</sub> (69,3 млрд. т), почти полностью представленных высококачественными каменными углями. отличающимися низким содержанием серы, малой зольностью и хорошей теплотворной способностью; набор таких характеристик обеспечивает кузбасским углям стабильный спрос на внутреннем и внешнем рынках [23] (рис. 4). Примерно четверть запасов бассейна находится в благоприятных горно-геологических условиях, что позволяет обрабатывать их сравнительно дешевым и безопасным открытым способом. Около половины углей (32,8 млрд. т) бассейна благодаря хорошей коксуетности может быть использована в металлургии. Однако из этого количества лишь 3,9 млрд. т запасов пригодны для открытой разработки. В Кузнецком угольном бассейне имеется 132 действующих и 90 строящихся шахт и разрезов [29]. Одними из крупных месторождений бассейна являются: Прокопьевско-Киселевское, Кедровско-Крохалевское, Березово-Бирюлинское, Ленинское,

Уропское, Караканское, Соколовское, Березовское. Свыше трети кузбасского угля выдают нагора шахты и разрезы Ерунаковского района, где сосредоточено 18,6 млрд. т энергетических и 5,3 млрд. т коксующихся углей [23]. Значительное количество угля разрабатывается в Ленинском и Кемеровском угленосных районах. Кузнецкий бассейн имеет огромный потенциал наращивания запасов; локализованные в его пределах прогнозные ресурсы категории  $P_1$  втрое превышают количество разведанных здесь запасов.

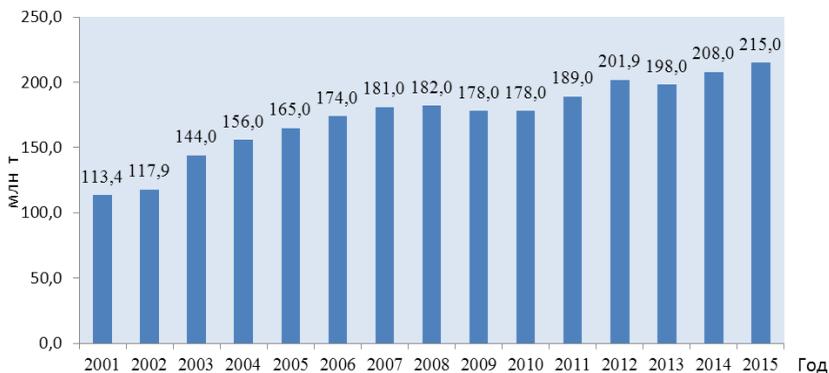


Рисунок 4. Динамика добычи угля в Кемеровской области, млн. т [29].

### Способы разработки месторождений

Разработка угольных месторождений осуществляется подземным и открытым способами в зависимости от глубины залегания угольных тел. Подземный способ наиболее трудоемкий и дорогой (табл. 2). Как правило, тонна угля при подземной добыче стоит в пять раз дороже [44]. Относительно простые горно-геологические условия залегания угольных пластов позволяют вести разработку многих месторождений открытым способом, доля которого в российской угледобыче превышает 75% [23]. В более сложных условиях залегают пласты, вмещающие коксующиеся угли – для карьерной разработки пригодны лишь 13% запасов углей этого типа. При подземном способе разработки месторождений применяются сплошные столбовые и комбинированные системы (при длинных очистных забоях), камерные и камерно-столбовые (при коротких забоях). Открытая добыча осуществляется карьерами (угольными разрезами).

Порядка 45% добываемых углей подвергается обогащению (рис. 5), которая включает операции дробления, сортировки, обогащения, брикетирования и сушки [44]. Дробление угля может представлять собой как самостоятельную, так и подготовительную операцию для последующего обогащения, брикетирования, кокования и т. д. Сортировка углей преследует цель разделения рядовых углей на классы, содержащие куски установленных размеров. Она производится при помощи последовательного отсева углей на грохотах с отверстиями сит размером, соответствующим крупности товарных углей. Сортировка углей также широко используется для разделения продуктов обогащения на классы крупности. Брикетирование углей является обязатель-

ным для мелких классов товарных углей и концентратов, которые не могут использоваться в полученной крупности. Оно также необходимо и при длительных перевозках для исключения пыления и смерзаемости угольной пыли.

Таблица 2

**Основные показатели разработки угольных месторождений [44]**

| Показатель   | Степень углефикации угля |           |          |
|--|--------------------------|-----------|----------|
|  | бурый                    | каменный  | антрацит |
| Характеристика угольных пластов:<br>глубина залегания, м | 15–600                   | 35–1250   | 150–1600 |
| форма залежи   |                          | пластовая |          |
| Крепость по Протодьяконову                               | VIIa                     | VII       | VI       |
| Способ разработки: подземный (П),<br>открытый (О)        | П, О                     | П, О      | П, О     |
| Глубина горных работ, м:                                 |                          |           |          |
| подземный  | 60–130                   | 90–1250   | до 1250  |
| открытый   | 35–435                   | 35–600    | до 600   |
| Коэффициент вскрыши открытых работ,<br>м <sup>3</sup> /т | 10–15                    | 10–20     | 15–20    |
| Эксплуатационные потери, %:                              |                          |           |          |
| подземный  | 12–18                    | 12–18     | 12–18    |
| открытый   | 3–6                      | 3–6       | 3–6      |

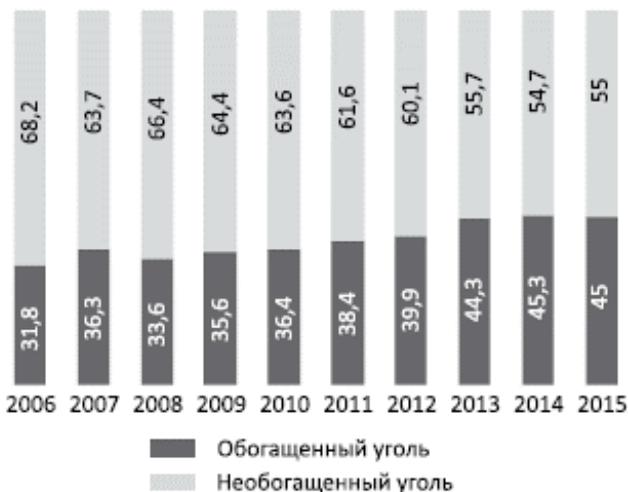


Рисунок 5. Доля обогащаемого угля в валовой российской угледобыче в 2006–2015 гг., % [23].

При обогащении углей применяются гравитационные процессы (для углей крупностью от 0,5 до 300 мм) и флотация (для обогащения мелких классов, <1 мм). Наибольшее распространение получила пенная флотация. Продуктами обогащения являются: концентрат, содержащий наиболее чистый уголь; промпродукт, в котором содержится наибольшее количество сростков углей с минеральными образованиями; хвосты (порода) – продукт с наибольшим содержанием частиц вмещающих пород. Побочными продуктами при обогащении являются: отсеб – необогащенный мелкий уголь, пыль – частицы угля менее 0,5–1 мм, шлаб – частицы пылевидного угля, накапливающиеся в моечных и технологических продуктах. В зависимости от зольности побочные продукты присаживаются к концентрату или промпродукту. В ходе предварительной подготовки и обогащения углей в большинстве случаев происходит заметное снижение уровней содержания в них ртути, что в существенной мере обусловлено формами (видами) нахождения ртути в углях и технологическими особенностями их обогащения, в ходе которого шприт (основной концентратор ртути) уходит преимущественно в отходы (хвосты) обогащения.

В угленосных, а также в подстилающих и перекрывающих их отложениях содержатся горные породы, которые по составу, свойствам, условиям залегания и технико-экономическим критериям могут рассматриваться как полезные ископаемые [57]. Некоторые сопутствующие полезные ископаемые парагенетически связаны с углями или вмещающими их породами угленосных формаций; образование их предшествует угленакоплению либо связано с сингенетичными или эпигенетичными процессами формирования угольных месторождений.

К ним относятся:

- развитые в доугленосных корах выветривания и в зонах внутриформационных перерывов огнеупорные глины, первичные и переотложенные каолины, аллиты, бокситы;

- слагающие в продуктивных и разделяющих их горизонтах (свитах) пласты обломочных и хемогенных в различной степени литифицированных осадочных пород, пригодных для использования как керамическое, формовочное, стекольное сырье или сырье для производства строительных материалов;

- связанные с магматизмом изверженные породы, а также термально измененные угли и вмещающие их осадочные породы – каменный строительный материал, графиты и др.;

- образовавшиеся при выгорании углей горелые породы (глиежи) – сырье для производства цемента, вяжущих веществ, наполнителей для асфальтобетона и др.;

- ценные компоненты, повышенная концентрация которых явилась следствием процессов сульфаторедукции (сульфиды, сера) или сорбции углями и углистыми породами урана, германия, цветных и редких металлов;

- воскодержажщие битумы – сырье для производства буроугольного воска – содержится в некоторых типах слабоуглефицированных (мягких) бурых углей.

В перекрывающих угленосные формации отложениях, не связанных с углеобразованием, содержатся песчано-гравийные, песчаные, глинистые, в некоторых случаях изверженные, карбонатные и другие породы, торф, в подстилающих образованиях известны железные руды, фосфориты и другие полезные ископаемые [58]. Сопутствующими полезными ископаемыми являются подземные воды, участвующие в обводнении месторождений, а также заключенный в углях и угленосных породах свободный и сорбированный метан. Полезные ископаемые и ценные компоненты, не имеющие определяющего значения и извлекаемые из недр при добыче угля или из угля при последующей его переработке, объединяются в понятие «попутные».

## Общая характеристика углей

Ископаемый уголь – твердая горючая органическая порода, образовавшаяся преимущественно из отмерших растений в результате их биохимических, физико-химических и физических изменений. Основные компоненты: органическое вещество-носитель горючих и других технологических свойств угля, минеральные включения и влага [44]. В зависимости от характера и степени преобразования органического вещества уголь в соответствии с принятой в Российской Федерации градацией подразделяется на три группы: бурый, каменный и антрацит. Бурый уголь – уголь низкой стадии метаморфизма с показателями отражения витринита (гумината) менее 0,6% при условии, что высшая теплота сгорания на влажное беззольное состояние угля составляет менее 24 МДж/кг. Каменный уголь образуется на средней стадии метаморфизма с показателем отражения витринита от 0,4 до 2,59% при условии, что высшая теплота сгорания на влажное беззольное состояние угля равна или выше 24 МДж/кг, а выход летучих веществ (на сухое беззольное состояние угля) равен 8% и более. Антрацит относится к углям высокой стадии метаморфизма с показателем отражения витринита более 2,59% при условии, что выход летучих веществ (на сухое беззольное состояние угля) не менее 9%.

Уголь состоит в основном из органических соединений растительного происхождения и содержит также значительное количество различных неорганических примесей [44]. Основные минеральные включения в углях – глинистые минералы, сульфиды железа, карбонаты, оксиды кремния и др. Глинистые минералы составляют до 60 – 80% общего количества минеральных веществ и представлены иллитом, серицитом, монтмориллонитом, каолинитом, иногда галлузитом. Из сульфидов железа наиболее характерны пирит, марказит и мельниковит. Карбонаты представлены кальцитом, сидеритом, доломитом, анкеритом. Оксиды кремния – кварцем, халцедоном, опалом и другими минералами. Главными элементами органической части углей являются углерод, водород, кислород, азот, указанные элементы, кроме того, содержатся (в меньших количествах) в составе минеральных компонентов и воды. К главным пороодо- и золообразующим элементам углей принадлежат алюминий, кремний, железо, кальций, магний, натрий, калий, которые составляют 60–95% минеральной части топлива. Сера и фосфор традиционно относятся к основным вредным элементам углей и преимущественно изучаются как токсичные и технологические вредные компоненты.

Характеристики угля сильно меняются от месторождения к месторождению. Промышленные классификации ископаемых углей отражают сложившуюся практику их использования [58]. В России основой промышленной классификации углей служит их марочная принадлежность. Марка угля – условное название (буквенное обозначение) разновидностей угля, близких по генетическим признакам и основным энергетическим и технологическим свойствам. В свое время, в соответствии с ГОСТ 25543-88, была введена классификация углей, предусматривающая подразделение их по видам, генетическим и технологическим параметрам. Классификацией предусмотрено отнесение углей к бурым, к каменным углям, к антрацитам; предусмотрено также выделение класса, категорий, типа и подтипа углей.

В углях количественно установлено более 50 редких элементов и цветных металлов, входящих в состав как органической, так и минеральной части топлива [54, 55, 89, 92, 93, 95, 96]. В практике геологоразведки они обычно выделяются под условным названием «малые» элементы, микроэлементы, элементы-примеси.

Анализ данных известного справочника [89] свидетельствует о том, что среди элементов, накапливающихся в товарных углях России, преобладают литофильные и халькофильные элементы. Элементы сидерофильной группы концентрируются редко (Восточный Донбасс, Кузбасс, бассейны и месторождения Приморья). Литофильная группа включает 14 элементов – литий, бериллий, фтор, титан, ванадий, германий, стронций, рубидий, иттрий, цирконий, ниобий, иттербий, вольфрам, тантал. Максимальные количества элементов литофильной группы накапливаются в товарных углях Кузнецкого, Донецкого, Печорского, Подмосковского, Кизеловского бассейна, бассейнов и месторождений Приморья. Халькофильная группа включает 13 элементов – цинк, селен, кадмий, индий, молибден, серебро, сурьма, рений, таллий, висмут, ртуть, свинец. Наибольшие количества элементов халькофилов свойственны товарным углям Восточного Донбасса, Кузнецкого и Подмосковского бассейнов. Группа сидерофильных элементов включает 4 элемента – хром (Восточный Донбасс), кобальт (Кузбасс), платину и палладий (бассейны и месторождения Приморья). «Кондиционные» (для коксующихся углей) содержания германия установлены для некоторых шахт Восточного Донбасса (до 20,8 г/т). Потенциально рудная концентрация лития (53–106 г/т) выявлена в товарных углях Печорского, Кузнецкого бассейнов и Восточного Донбасса. Повышенные содержания титана (1700–6500 г/т) установлены в товарных углях Печерского, Подмосковского, Челябинского, Кузнецкого бассейнов, Анадырского месторождения, бассейнов и месторождений Приморья, каменноугольных месторождений Сахалина. Сурьма – распространённый рудный элемент товарных углей бассейнов и месторождений Приморья. Концентрации золота (0,08 – 0,20 г/т) установлены в Подмосковном, Кизеловском и Кузнецком бассейнах. Кондиционное содержание серебра (2,1 г/т) установлено в углях разреза Черниговский в Кузбассе. Повышенные содержания иттрия (23–67 г/т) выявлены в товарных углях Подмосковского, Кизеловского, Кузнецкого бассейнов и Павловского месторождения в Приморье. В товарных углях Кизеловского, Печорского, кузнецкого бассейнов и Восточного Донбасса отмечаются повышенные уровни лантана, церия и иттербия. Повышенные концентрации рения наблюдаются в антрацитах Восточного Донбасса и в некоторых углях Ленского бассейна, бериллия – в углях Подмосковского, Кизеловского и Кузнецкого бассейнов, стронция – Восточный Донбасс, Забайкалье, Кузнецкий, Ленский и Сахалинский бассейны, рубидия – Восточный Донбасс, Кузбасс, циркония – Печорский, Подмосковский, Кузнецкий бассейны, каменные угли Приморья, ниобия – Печорский. Кузнецкий, Ленский бассейны, вольфрама – Восточный Донбасс, Читинская область, Сахалин, селена – Печорский, Кизеловский бассейны. Восточный Донбасс, висмута – Печорский, Кузнецкий, Ленский бассейны, Восточный Донбасс, некоторые месторождения Северо-Востока.

Угли многих месторождений содержат ртуть и мышьяк в концентрациях, заметно превышающих их кларковые уровни в литосфере и осадочных породах, что создает определенные экологические проблемы при их использовании [89, 97, 98–100].

Среднее содержание в углях Кизеловского бассейна Be, Sc, Ti, V, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Y, Zr, Ag превышает среднее их содержание для углей в СНГ [55]. Исследования последних лет показывают [19], что повышенными концентрациями серебра (в среднем 7,6 г/т) характеризуются антрациты «спокойных» пластов Восточного Донбасса. Дальневосточные угли отличаются высоким содержанием естественных радионуклидов.

В состав органической массы углей входят полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые являются очень стойкими поллютантами. Содержание ПАУ в углях может доходить до сотен, а в некоторых случаях до тысяч мг/кг. Представителем ПАУ, обладающим сильным канцерогенным действием, является бенз(а)пирен. Наиболее распространенными и устойчивыми углеводородами данного ряда являются фенантрен, флуорантен, пирен, хризен (табл. 3).

Таблица 3

**ПАУ в углях Кузнецкого угольного бассейна разной степени метаморфизма, мкг/кг [35]**

| Соединение        | Марки угля |      |       |       |      |       |       |       |       |
|-------------------|------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
|                   | Д          | ДГ   | ГЖО   | ЖО    | Ж    | К     | КС    | КС    | ОС    |
| Фенантрен         | 80,3       | 14,3 | 86,2  | 50,6  | 33,0 | 204,2 | 199,6 | 130,2 | 124,9 |
| Пирен             | 36,9       | 1,2  | 14,0  | 12,6  | 19,6 | 69,2  | 66,2  | 6,7   | 32,1  |
| Бенз(а)антрацен   | 32,0       | 9,7  | 21,6  | 5,2   | 7,8  | 16,4  | 34,2  | 4,3   | 3,1   |
| Хризен            | <3,0       | <3,0 | <3    | 17,9  | 11,9 | 62,6  | 59,6  | 32,4  | 28,0  |
| Бенз(б)флуорантен | <6,0       | 6,2  | 13,0  | 26,0  | 18,8 | 11,0  | 24,8  | 7,6   | 5,6   |
| Бенз(а)пирен      | <1,0       | 3,6  | 10,6  | 6,6   | 4,4  | <1,0  | 47,6  | 24,3  | 21,4  |
| Сумма ПАУ         | 149,7      | 35,0 | 145,4 | 118,9 | 95,5 | 363,4 | 432,0 | 178,5 | 215,1 |

Как видим, максимальное суммарное значение ПАУ найдено для углей марок К, КС (363,4–432,0 мкг/кг). В пробах угля обнаружен бенз(а)пирен, содержание которого находится в диапазоне 3,6–47,6 мкг/кг. Максимальные концентрации найдены для фенантрена, его доля составляет до 50% от суммы идентифицированных ПАУ. Таким образом, фенантрен является приоритетным ПАУ для углей различных марок угля и может быть использован для оценки влияния процессов добычи и переработки углей на окружающую среду [34, 35]. Эмиссия ПАУ в окружающую среду возможна на этапах добычи, складирования и транспортировки, но особенно при процессах высокотемпературной переработки угля.

В работе [103] изучено распределение ПАУ в 15 углях, начиная от бурого угля до антрацита. Концентрации приоритетных ПАУ найдены в диапазоне от 35 до 11000 нг/г угля (сухой вес) или от 38 до 12 000 нг/г углерода и изменяются со степенью углефикации, достигая максимума для битуминозных углей.

**Общее воздействие добычи угля на окружающую среду**

Отработка угольных месторождений связана с извлечением на поверхность больших масс пустых пород, откачкой шахтных, карьерных и дренажных вод, эксплуатацией их накопителей и – часто – шламохранилищ углеобогащительных фабрик [1, 21, 53, 58, 71] (табл. 4, рис. 6). При добыче каждой тысячи тонн угля шахтным способом на поверхность в среднем извлекается 100–115 м<sup>3</sup> пород. Добыча открытым способом каждой тысячи тонн угля требует размещения 3,6 тыс. м<sup>3</sup> вскрышных пород (табл. 5). Таким образом, на каждую 1000 т/год производительности угольных карьеров изымается 1000–1500 м<sup>2</sup>/год земельных угодий. По данным [91], добыча 1 т угля сопровождается выдачей на поверхность 0,1–0,35 т шахтной породы и от 1,5 до 10 т вскрышной породы.

## Основные направления и результаты воздействия угольных предприятий на окружающую среду [56]

| Компоненты окружающей среды | Направление воздействия   | Результат воздействия  |
|-----------------------------|---|--|
| Воздушный бассейн           | Организованные и неорганизованные выбросы вредных веществ в атмосферу   | Запыление и загрязнение атмосферы в рабочей зоне и прилегающей территории. Сокращение срока службы зданий и оборудования. Рост заболеваемости живых организмов   |
| Водные ресурсы              | Осушение месторождения. Ликвидация или перенос поверхностных водоемов и водотоков. Сброс шахтных, карьерных и дренажных вод. Устройство водозаборов для технических и бытовых нужд предприятия  | Истощение запасов подземных и поверхностных вод. Нарушение гидрогеологического и гидрологического режимов территории. Ухудшение качества и загрязнение водного бассейна. Исчезновение мелких рек и ручьев  |
| Земельные ресурсы           | Проведение горных выработок различного назначения. Сооружение породных отвалов, шламохранилищ и инженерных коммуникаций. Промышленное и гражданское строительство   | Деградация земной поверхности и формирование техногенного рельефа. Сокращение площадей и продуктивности земельных угодий. Усиление эрозийных процессов. Загрязнение и засоление почв и грунтов. Ухудшение условий обитания живых организмов  |
| Недра                       | Извлечение полезных ископаемых и сопутствующего минерального сырья. Выемка вскрышных пород. Дренаж горного массива. Самовозгорание горючих ископаемых и углепластующих пород. Захоронение отходов производства и вредных веществ. Сброс сточных вод | Истощение минерально-сырьевых ресурсов. Нарушение геологического строения и геодинамического состояния массива горных пород. Снижение уровня и истощение запаса подземных вод. Загрязнение недр. Ускорение карстовых процессов. Потери полезных ископаемых при добыче и обогащении |



Рисунок 6. Схема загрязнения и нарушения окружающей среды угольными шахтами [16].

Таблица 5

**Объемы выхода отходов, образующихся при добыче, обогащении и сжигании углей [45]**

| Вид отходов    | Объем выхода отходов в расчете на |                    |           |
|----------------|-----------------------------------|--------------------|-----------|
|                | 1 т угля                          | весь объем. млн. т | % к итогу |
| Добыча:        |                                   |                    |           |
| газообразные   | 2,5                               | 610                | 25,02     |
| твердые:       |                                   |                    |           |
| шахтная порода | 0,25                              | 25                 | 1         |
| породы вскрыши | 7,0                               | 1008,0             | 41,6      |
| стоки          | 2,9 м <sup>3</sup>                | 707                | 29,2      |
| Обогащение     |                                   |                    |           |
| хвосты         | 0,23                              | 20                 | 0,8       |

Карьеры отдельных угольных месторождений уже сейчас занимают площадь до 2 км<sup>2</sup>, Кроме того, большие площади отводятся под шламонакопители углеобогажительных фабрик. Наиболее мощные из них имеют шламохранилища площадью до 8 км<sup>2</sup> [84]. В настоящее время в отвалах горнодобывающих предприятий, расположенных на территории России, накопилось не менее 12 млрд. т вскрышных и вмещающих пород [91].

В Донецкой области средняя глубина шахт составляет 750 м, а максимальная уже достигла 1400 м [32]. В угольные шахты и разрезы Кузбасса подается 360 млн. м<sup>3</sup> воздуха в год и откачивается более 200 млн. т воды, а из разрезов перемещается в отвалы 300–350 млн. т. горных пород [16]. Общая площадь депрессионных воронок в этом регионе достигает 2 тыс. км<sup>2</sup>. Кроме этого, ежегодно отторгается около 1,5 тыс. га территорий, а площадь нарушенных земель увеличивается на 65,5 тыс. га. Площадь горного отвода шахты «Бошняково» (о. Сахалин) и соответствующего участка открытых работ составляет 622 га [83].

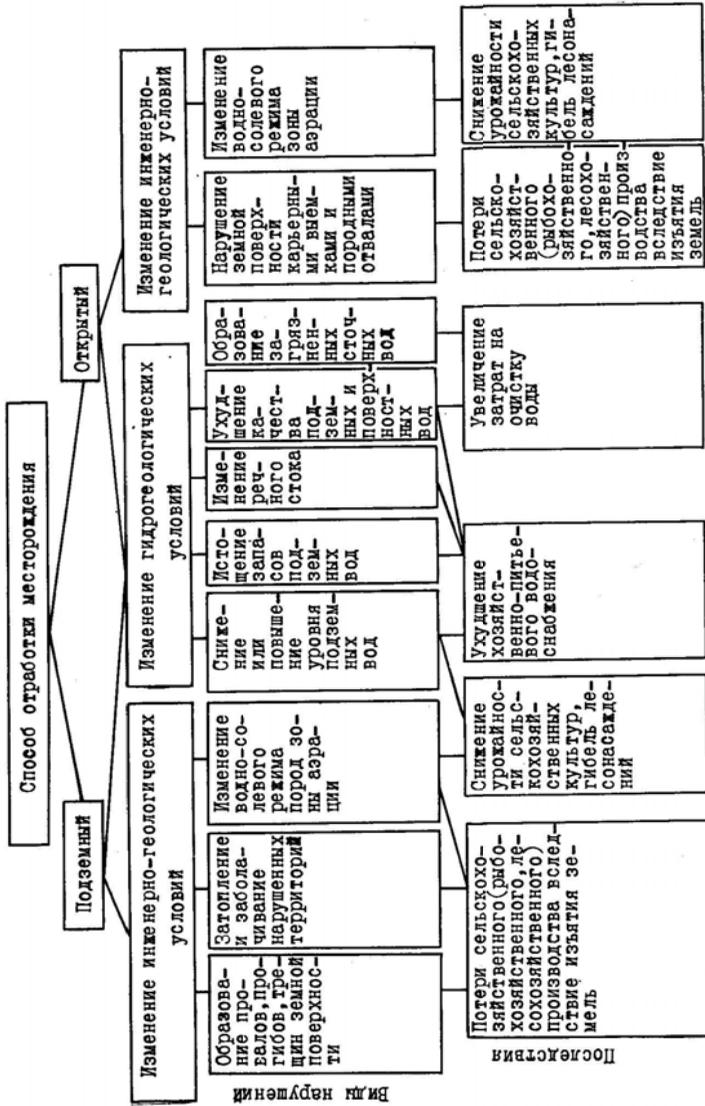


Рисунок 7. Схема влияния углубляющих предприятий на геологическую среду [6].

В силу особенностей технологии ведения открытых и подземных горных работ характер влияния угольных шахт и разрезов на геологическую среду различен (рис. 7). Добыча угля открытым способом сопровождается механическим перемещением породных масс, вскрытием подземных водоносных горизонтов. Основными видами инженерно-геологических нарушений являются при этом деформации в бортах и откосах карьеров, усиление геодинамических процессов, формирование техногенного рельефа. При подземном способе добычи угля отрицательные изменения связаны со сдвижением и деформацией горных пород и земной поверхности. В результате в перекрывающей толще пород образуются водопроводящие трещины, на земной поверхности – провалы, прогибы, затопленные и заболоченные участки, изменяется водно-солевой баланс пород зоны аэрации. Как в том, так и в другом случае, происходит формирование обширных депрессионных воронок (со значительными понижениями уровня подземных вод), образование сточных вод, загрязненных взвешенными веществами, растворенными солями и тяжелыми металлами.

Разрушение пород с помощью энергии взрыва является универсальным и практически единственным высокоэффективным способом подготовки скальных горных пород к выемке. Крупные заряды взрывчатых веществ широко применяются в горнодобывающей промышленности, когда одновременно взрываются заряды до 1000 т на открытых работах и до 100 т – на подземных. Например, в Кузбассе ежегодно используется 600 тыс. т взрывчатых веществ [35].

В общем объеме выбросов в атмосферу преобладают газообразные и жидкие вещества, доля которых составляет порядка 90%. Характерными составляющими отраслевых газообразных выбросов в атмосферу являются оксид углерода, оксиды азота, диоксид серы и шахтный газ метан (табл. 6).

Деятельность угледобывающих предприятий оказывает воздействие на достаточно обширные прилегающие к ним территории.

Таблица 6

**Основные показатели, характеризующие воздействие угольной промышленности России на воздушный бассейн в 1999-2003 гг., тыс. т [82]**

| Показатель                       | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Выброшено вредных веществ, всего | 620,8 | 604,3 | 786,4 | 819,5 | 763,9 |
| в том числе:                     |       |       |       |       |       |
| твердых веществ                  | 71,6  | 53,8  | 56,9  | 54,7  | 53,4  |
| жидких и газообразных веществ    | 549,2 | 550,5 | 729,5 | 764,9 | 710,5 |
| из них:                          |       |       |       |       |       |
| диоксид серы                     | 33,6  | 17,1  | 18,3  | 15,5  | 14,6  |
| оксид углерода                   | 51,8  | 32,1  | 34,9  | 33,9  | 33,6  |
| оксид азота                      | 16    | 10,0  | 10,6  | 9,5   | 8,1   |
| углеводороды (метан)             | 443,5 | 487,2 | 659,8 | 705,3 | 653,6 |
| Уловлено и обезврежено, %        | –     | 12,8  | 10,9  | 9,1   | 10,6  |

Добыча угля на юге Дальнего Востока производится открытым и подземным способами с вывозкой вскрышных пород во внешние отвалы. Это способствует формированию карьерно-отвальных техногенных ландшафтов с резко расчлененным рельефом. Создание карьеров, образование отвалов пустых пород и отходов переработки угля на обогатительной фабрике, строительство промышленных площадок, транспортных и энергетических

коммуникаций способствуют не только загрязнению воздушного бассейна и водных объектов, нарушению водного баланса, но и изменению структуры, деградации растительного и почвенного покровов и их разрушению [48]. Добыча угля осуществляется из относительно глубоких горных выработок. С ними связаны нарушения естественного состояния горного массива, способствующего деформации земной поверхности и развитию нежелательных экзогенных процессов. Возрастает твердый сток. Наблюдаются изменения физико-механических свойств четвертичных отложений, их пористости и массы. Они проявляются в усилении скорости выветривания почв и горных пород, заболачивании пойм и плоских поверхностей, процессах механической суффозии, речной аккумуляции. Для угледобывающих предприятий большой проблемой является высокий выход отходов на единицу добываемой продукции. На отвалах вскрышных и вмещающих пород интенсифицируются эрозийные процессы. Эрозийный снос с 1 га достигает 20 т и более. В период муссонных дождей формируются языки протяженностью свыше 600 м. О масштабах негативного воздействия предприятий угольной промышленности на земельные ресурсы Приморского края свидетельствуют следующие данные: в среднем в процессе добычи 1 млн. тонн угля, например, на Ургальском угольном предприятии Хабаровского края, отчуждается от 400 до 800 га земельных угодий [48]. Добыча одной тысячи тонн угля сопровождается выдачей от 500 до 800 т вскрышной горной породы и свыше 11000 т – при открытом способе. В связи с высокой удельной технологической землеемкостью угледобывающих предприятий Дальнего Востока, где она составляет до 50 га на 1 млн. тонн угля, вопрос использования земельно-отвода здесь приобретает особую остроту.

Добыча угля относится к очень водоемкой сфере техногенной деятельности (табл. 7). В структуре сброса сточных вод в водные объекты преобладали загрязненные сточные воды (81%). Наибольшие объемы сточных вод имели предприятия Кузнецкого угольного бассейна, месторождений Дальнего Востока, Донецкого угольного бассейна и Урала – регионы перспективного увеличения добычи и переработки угля.

Таблица 7

**Показатели водопользования в угольной промышленности России  
в 2000–2003 гг., млн. м<sup>3</sup> [69]**

| Показатель  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Использовано свежей воды, всего                                 | 131,8 | 139,9 | 122,9 | 114,0 |
| Объем оборотной и повторно-последовательно используемой воды, % | 554,1 | 570,1 | 505,9 | 530,7 |
| Экономия свежей воды, %   | 84,4  | 84    | 84    | 86    |
| Сброшено сточных вод в поверхностные водоемы, всего             | 471,3 | 517,5 | 486,2 | 440,4 |
| в том числе:  |       |       |       |       |
| загрязненных  | 380,4 | 432,1 | 394,6 | 371,5 |
| из них без очистки  | 96,8  | 121,8 | 122,8 | 114,8 |
| нормативно-чистых   | 41,1  | 48,8  | 54,2  | 38,9  |
| нормативно-очищенных  | 49,8  | 36,5  | 37,5  | 30,0  |

В 2010-х гг. на Украине при добыче угля из шахт ежегодно откачивали более 600 млн. м<sup>3</sup> воды, которые сбрасывались без должной очистки в поверхностные водные объекты, что обуславливало поставку них свыше 1 млн. т минеральных солей [75].

Добыча угля всегда была очень опасной деятельностью, и список катастроф, связанных с ней, довольно длинный. Только США в XX в. в результате несчастных случаев погибло более 100 тыс. шахтеров, причем в 1907 г. число жертв превысило 3200 чел. [21].

Согласно международному руководству [63], факторы риска для безопасности и здоровья шахтеров-угольщиков включают в себя, не ограничиваясь лишь нижеперечисленным, следующее: взрывы в шахтах; пожары в шахтах; обрушения подземных выработок; приводящие к инвалидности и смерти заболевания легких, возникающие в результате вдыхания угольной пыли в угольных шахтах; потеря слуха от воздействия шума; а также травмирование шахтеров, оказавшихся между элементами оборудования или между оборудованием и стенкой выработки в ограниченном пространстве; шок, ожоги и поражение электрическим током; воспламенение метана, способного взрываться во время отбойки угля; приток опасных газов, воды или других свободнотекущих материалов из старых горных выработок или зон геологических разломов; выбросы породы, угля и газов, происходящие под воздействием сверхвысокого давления; преждевременная или неправильная детонация взрывчатых веществ; воздействие вредных химических реагентов и токсичных веществ, применяемых на шахтах. Во время добычи, транспортировки, подготовки и обогащения угля образуются мельчайшие частицы взвешенной угольной пыли, переносимые по воздуху и невидимые невооруженным глазом. Количество таких частиц пыли в воздухе и их размер определяются с помощью соответствующих приборов. Уголь состоит из множества различных элементов. В нем содержатся примеси других веществ в пылеобразном состоянии (в основном кристаллический кремнезем), которые образуются при дроблении пород крыши, подошвы выработки или угольного пласта и которые также могут витать в воздухе. Присутствующая в угольных шахтах взвешенная пыль представляет серьезную угрозу для здоровья. В результате вдыхания пыли у шахтеров могут возникать заболевания респираторной системы (легких), в том числе пневмокониоз, прогрессирующий массивный фиброз, силикоз и хроническая непроходимость легких. Эти заболевания легких являются прогрессирующими, инвалидизирующими и могут быть смертельными. Серьезную опасность при добыче угля представляют прорывы воды, ядовитых или горючих газов и других веществ. Работы по добыче угля могут проводиться слишком близко к старым выработкам или геологическим аномалиям, содержащим воду, газы или иные вещества, которые способны затопить шахту. Особую опасность представляет собой ведение горных работ рядом с содержащими воду или опасные рудничные газы старыми выработками, в которых маркшейдерские работы проводились плохо, ненадлежащим образом или не проводились вовсе. При внезапном прорыве вода, находящейся в старых выработках, особенно если они находятся выше разрабатываемого в данный момент горизонта шахты, она может быстро затопить последний вместе с находящимися в ней шахтерами, не дав им даже возможности эвакуироваться. Внезапно прорвавшиеся рудничные газы могут создать непосильную нагрузку на систему вентиляции шахты, вытеснить кислород из воздуха и вызвать удушье у шахтеров или же, при соответствующем соотношении с кислородом, инициировать взрывы. Взрывчатые вещества могут быть опасными в любых ситуациях, однако в угольных шах-

тах они представляют собой дополнительную опасность, необычную для прочих условий. Пути перемещения и рабочие места в угольных шахтах представляют собой замкнутое пространство, в котором происходит значительное возрастание сил, высвобождающихся при детонации взрывчатых веществ. Поскольку в угольных шахтах присутствует природное топливо, включающее в себя уголь, угольную пыль, огнеопасные и взрывоопасные рудничные газы, детонация взрывчатых веществ может привести к воспламенению этого топлива и возникновению подземных пожаров и взрывов, которые способны подвергнуть большое количество людей риску гибели или получения серьезных травм. При детонации взрывчатых веществ в рудничную атмосферу выделяются вредные и ядовитые газы, способные вызвать заболевание и смерть. В силу самой их природы обращение со взрывчатыми веществами и их транспортировка сопряжены с опасностью. В случае их преждевременной детонации при транспортировке или при закладке в шпур последствия могут оказаться смертельными.

### **Воздействие на атмосферу и почвы**

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на угольных предприятиях являются технологические процессы горного производства (буровзрывные работы, экскавация, погрузка и транспортирование горной массы, внутреннее и внешнее отвалообразование и пыление отвалов, энергетические и сушильные установки, аспирационные системы, открытые угольные склады, горящие породные отвалы, работа двигателей внутреннего сгорания горной техники и др.). Этими источниками выбрасываются в атмосферу угольная и породная пыль, сажа, окислы серы, азота и углерода, сероводород и другие вредные вещества. Существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят выделения шахтного газа метана [56]. По данным [43], при добыче угля открытым способом в атмосферу поступают СО (десятки и сотни тонн в год от одного разреза), NO<sub>2</sub> (тонны в год), NO (сотни кг), сажа (сотни кг), SO<sub>2</sub> (сотни кг), разнообразная пыль (десятки и сотни тонн), а также различные углеводороды, бенз(а)пирен, формальдегид, керосин и др. Результаты исследования в районе угольных предприятий Приморья показывают, что загрязнение воздуха в зоне влияния угольного предприятия можно отнести к довольно высокому уровню [48]. Кратность превышения максимальных концентраций загрязняющих веществ относительно фонового содержания колебалась от 1,8 до 16 раз.

Подземная добыча угля также сопровождается поступлением различных загрязняющих веществ в атмосферу. Исследования, выполненные на шахте «Подмосковная», расположенной в старом угледобывающем регионе в Тульской области, показали следующее [25]. В начале 2000-х гг. здесь добывалось до 700 тыс. т угля в год (1500 тыс. т в начале 1990-х гг.). Установлено, что шахта является источником выброса в атмосферу тринадцати вредных веществ: пыли неорганической, пыли угля, древесной, абразивной, резиновой и металлической, золы угля, сварочного аэрозоля, сернистого ангидрида, марганца и его оксидов, оксида углерода, оксида и диоксида азота, фтористого водорода. В состав выбросов входят вещества, которые обладают эффектом суммарного вредного воздействия: а) диоксид азота и сернистый ангидрид; б) сернистый ангидрид и фтористый водород. Наряду с газами, эффектом суммирования обладают твердые частицы: пыль породы, пыль угля, древесная пыль, пыль абразивная и металлическая, зола угля, сварочный аэрозоль, включающий марганец и оксиды. Источниками выбросов в атмо-

сферу на шахте «Подмосковная» являются: главный ствол, котельная, выгызка из помещения котельной, кухня, гидроцех, ОТК, погрузочный пункт породы, террикон, эстакада, протечка угольного склада, угольный склад, погрузочный пункт угля в железнодорожные вагоны, вагоны, электросварка, пилорама. Суммарное количество выбросов составляет 16,777 т/год, что по отдельным показателям превышает ПДВ.

Практически всегда разработка угольных месторождений сопровождается поступлением в атмосферу опасных газов, встречающихся в угольных пластах – метана, монооксида углерода, сероводорода. «мертвого» воздуха, а также побочных продуктов взрывных работ и выхлопов дизельных двигателей. Так, изучение компонентного состава газа в 7 скважинах Талдинского угольного месторождения и 30 скважинах Нарыкско-Осташкинской площади показало, что содержание метана в нем находится на уровне 91,95–98,26%. Содержание тяжелых углеводородов метанового ряда варьируется в широком диапазоне концентраций (этан от 0,007% до 2,109%, пропан от <0,001% до 0,401%), содержание бутанов, пентанов, гексанов в газе незначительно или не проявляется [37]. Значения суммарной объемной доли негорючих компонентов находятся в диапазоне 0,794–2,050% и не превышают установленный норматив (не более 7,0%). Содержание сероводорода в газе угольных пластов Талдинского месторождения незначительное и находилось в диапазоне от 0,0001 до 0,0007 мг/м<sup>3</sup>, что заметно ниже допустимого значения по ГОСТ 5542-2014 и ГОСТ 27577-00 (0,02 мг/м<sup>3</sup>). Концентрация сероводорода в газе угольных пластов Нарыкско-Осташкинской площади было выше и изменялась в диапазоне от 0,00015 до 0,0054 мг/м<sup>3</sup>.

Н.В. Журавлевой [35] на примере Кузбасса выполнено изучение распределения метана и СО<sub>2</sub> в атмосферном воздухе на границах санитарно-защитных зон (СЗЗ) передвижных дегазационных установок (ПДУ) угледобывающих предприятий, на границе СЗЗ полигона ТБО, в атмосферном воздухе населенных мест. За период с 2011 по 2013 гг. было исследовано более 500 проб атмосферного воздуха. Диапазоны содержания метана в атмосферном воздухе составляли от 0,31 до 143,61 мг/м<sup>3</sup> (на границах СЗЗ ПДУ), от 1,08 до 3,89 мг/м<sup>3</sup> (на границе СЗЗ полигона ТБО), от 0,94 до 2,28 мг/м<sup>3</sup> (на территории населенных пунктов). Концентрации углекислого газа находятся в пределах от 0,043 до 0,065% (на границах СЗЗ ПДУ), от 0,038 до 0,049% (на границе СЗЗ полигона ТБО), от 0,035 до 0,038% (на территории населенных пунктов). Для разовых проб метана, отобранных на границе СЗЗ ПДУ, максимальные концентрации составляли от 119,15 до 143,61 мг/м<sup>3</sup> (при ОБУВ 50 мг/м<sup>3</sup>). Средний уровень содержания этого компонента на границе СЗЗ полигона ТБО и на территории населенных пунктов не превышал допустимой концентрации. Содержание СО<sub>2</sub> в пробах воздуха, отобранных на границах СЗЗ ПДУ и полигона ТБО, превышал фоновый уровень углекислого газа по России (от 0,034 до 0,037%) в 1,5 раза. В атмосферном воздухе населенных пунктов этот показатель находится в пределах фона. Таким образом, концентрация метана на границах санитарно-защитных зон угледобывающих предприятий превышает его концентрацию на территории населенных пунктов.

При массовых взрывах в карьерах образуется пылегазовое облако объемом до 15–20 млн. м<sup>3</sup>, высотой до 1500–1600 м, из которого в течение нескольких в радиусе 3–4 км рассевается 200–500 т мелкодисперсной (диаметром менее 5 мкм) пыли, ее концентрация в карьере составляет 0,134–0,216 кг/м<sup>3</sup> [79]. По данным [70], интенсивность выделения пыли в угольных разрезах изменяется от 230–320 мг/с при разгрузке думпкаров и автосамосвалов до 11000 мг/с

при работе роторного экскаватора по добыче угля. При погрузке – выгрузке породы и формирования отвала бульдозером в воздух поступает пыль неорганическая с высоким содержанием двуокси кремния [14]. Существенными источниками поступления пыли в атмосферу являются отвалы. Согласно [10], погрузка разрушенной горной массы и внутрикарьерные дороги дают до 80% общего пылевого баланса. В условиях Южной Якутии на угольных карьерах 40–50% пыли образуется при взрывных работах, 20–25% выделяется при погрузке отбитой горной массы и 25–40% при транспортировке по внутрикарьерным дорогам. От 5–5% (при транспортировке) до 70–75% (массовые взрывы) пыли выносятся за пределы карьера [59].

Шахтная пыль состоит в основном из угольных и породных частиц [13]. В ее состав могут входить примеси металлов, которые образуются при истирании коронок рабочих органов выемочных и проходческих машин, рельсов и других трущихся металлических поверхностей. Качественный состав угольной пыли определяется ингредиентами угля в массиве, а породной – минералогическим составом вмещающих пород и породных прослоев. Количественное и качественное содержание компонентов в составе пыли несколько отличается от массива, что объясняется различными физическими свойствами – хрупкостью твердостью и т. д. Во вмещающих породах шахт Донбасса минеральный спектр представлен: кварцем, полевыми шпатами, слюдами, гидрослюдами, кальцитом, доломитом, магнезитом. Сернистые соединения железа (спирит, марказит), окислы и гидрокислы железа, лимонит, сидерит – распространены в виде примесей. Тяжелые минералы (циркон, рутил, турмалин) встречаются в незначительном количестве. Из всех ингредиентов вещественного состава, содержание которых определяет вредность пыли для здоровья человека наиболее опасна свободный и связанный диоксид кремния. Обобщенные сведения о содержании  $\text{SiO}_2$  свободного в витающей пыли очистных забоев донецких углей приведены в табл. 8. Средний медианный диаметр взвешенной (витающей в забоях) пыли изменяется в пределах 16–50 мкм.

Наличие наночастиц угля в атмосфере шахт может оказывать серьезное влияние на процессы возгорания пыли. Так, авторами [5] выполнены измерения в галерее угольной шахты Кузнецкого угольного бассейна и показано, что 90% частиц (от общего количества 105 частиц/см<sup>3</sup>) имеют размеры менее 200 нм. В пыли Назаровского разреза содержится 5500–6500 мг/кг титана и до 7 мг/кг бериллия, а в отдельных точках выемки разреза до 15–100 мг/кг бериллия [62]. (Среднее содержание бериллия в верхней части континентальной коры оценивается в 0,23 мг/кг, титана – в 3930 мг/кг [24].) Эта пыль распространяется на 1–1,2 км от борта разреза и достигает жилых массивов г. Назарово. В общей доле выбросов в атмосферу разреза «Нерюн-гринский» основную массу занимают взвешенные вещества, диоксид азота, оксид углерода [59]. В состав выбросов входят также такие опасные для окружающей среды компоненты как свинец и его соединения, марганец и его соединения, хром шестивалентный, диоксид серы, оксид железа и другие химические вещества.

Загрязнение почвогрунтов химическими элементами и их соединениями при добыче угля происходит в результате выпадения из атмосферы пыли и копоти, образующихся при взрывных работах в углеразрезах, при погрузке-разгрузке, транспортировке, складировании угля и горных пород, при ветровой эрозии породных отвалов и угольных складов, поступлении дренажных вод и др. Одновременно изменяются и физико-химические характеристики почв.

Содержание SiO<sub>2</sub> свободного в пыли углей Донбасса [13]

| Разрабатываемые пласты   | Марка углей       | Зольность пластовая,<br>% | SiO <sub>2</sub> в золе, % | Расчетное содержание<br>свободного SiO <sub>2</sub> , % |
|--|-------------------|---------------------------|----------------------------|---|
| Крутые пласты<br>Антрациты<br>Пологие пласты сухих углей<br>Пологие пласты влажных углей | Г, К, ГЖ, ТОС, ПА | 28,5                      | 39                         | 3,3   |
|  | ТА, ПА            | 20,2                      | 43                         | 3,9   |
|  | Д, ГЖ, К, ОС, Т   | 19,5                      | 38                         | 3,0   |
|  | Д, Г, Ж           | 22,5                      | 47                         | 5,5   |

Так, в районе угольного разреза «Нерюнгринский» в лесной подстилке и моховом покрове отмечались повышенные концентрации цинка, меди, свинца отмечаются, в гумусовом горизонте почв – титана, марганца, молибдена [41]. В то же время изучение распределения металлов (Co, Cu, Cd, Ni, Pb, Zn, Mn) в почвах в зоне влияния угольного разреза «Восточный» (Читинская область) не выявило какого-либо интенсивного их накопления [17]. Характерно, что содержание органического вещества увеличивалось с увеличением расстояния от карьера, т. е. влияние открытых работ сказывается на снижении количества органического вещества в почвах. Реакция почвенного раствора в зоне техногенного влияния была слабокислая (5,5–6,0); для природных почв данного района обычно характерна нейтральная (рН 7), т. е. в зоне техногенного воздействия отмечается незначительное изменение реакции почвы в сторону подкисления.

Результаты исследования в районе угольных предприятий Приморского края свидетельствуют о том, что в почвенном слое, на прилегающих к предприятиям площадях, наблюдается уменьшение продуктивной влаги или развиваются процессы заболачивания и подтопления [48]. Это происходит за счет сброса дренажных вод, что способствует снижению урожайности сельскохозяйственных культур, например, в Приморском крае и Амурской области. Ухудшение условий водно-воздушного режима сопровождается уменьшением порозности, увеличением удельного веса, стойкими изменениями в химическом составе почв. Следствием этого является изменение видового состава растительности и в некоторых случаях преобладающее развитие мезофитов в условиях болотообразовательного процесса. В целом эти проблемы находят прямое отражение в исчезновении старых и формировании новых биогеоценозов, что особенно характерно для районов открытой добычи угля. При подземной угледобыче наблюдается частичное уничтожение биогеоценологических комплексов. Установлено, что в замкнутых прогибах наблюдается накопление закисного железа (до 15 мг/100 г почвы) и подвижного алюминия (до 16–17), что сопровождается угнетением растительности и полезной микрофлоры верхних слоев почвы на сопредельных территориях при сельскохозяйственном их использовании на расстоянии 1,5–2,5 км от углеобогачительной фабрики. В некоторых случаях отмечается загрязнение почв вблизи шахт подвижными формами хрома и меди. Суммарный показатель загрязнения в зоне влияния угольного предприятия равен 79. Судя по составу микрофлоры, структура и функционирование микробиоценозов здесь нарушены.

Вблизи промплощадок угольных шахт Воркуты отмечалось превышение в почвенно-грунтовых и поверхностных водах содержания кадмия и кобальта [20]. В зоне пылевых выбросов формируется техногенный горизонт ( $h = 15\text{--}30$  см), изменяется реакция почвенного раствора (рН 6,7–8,9), резко повышается содержание обменного кальция (в 10–20 раз) и азота (в 2–4 раза), накапливаются тяжелые металлы, например, наблюдались концентрации меди и цинка, превышающие ПДК в 1,7–1,9 раза и 2,5–5,0 раз соответственно, кадмий и кобальт превышали фон в 15–20 и 2,5–3,8 раз соответственно.

Изучение распределения ПАУ в почвах Таштагольского района (Кузбасс) показало, что содержание флуорантена не превышает 0,002 мг/кг, пирена – < 0,002 мг/кг, хризена – < 0,001 мг/кг во всех исследованных пробах. Фенантрен содержался в диапазоне от 0,001 до 0,005 мг/кг, при его фоновой концентрации в почвах данной территории 0,0019±0,0013 мг/кг [35]. При изучении распределения ПАУ в почвах на границах санитарно-защитных зон предприятий по добыче угля открытым и закрытым способом (в Кемеровской области) установлено, что содержания фенантрена находятся в диа-

пазоне от 0,0012 до 0,0031 мг/кг. Бенз(а)пирен обнаруживался лишь в единичных пробах (0,001 мг/кг). Более высокие его концентрации характерны для зон воздействия производств по обогащению угля (0,0015–0,0024 мг/кг, в отдельных точках до 0,039 мг/кг). Таким образом, предприятия по обогащению угля являются источниками поступления ПАУ в окружающую среду, в том числе канцерогенного бенз(а)пирена.

В пределах горного отвода шахты «Хакасская» среднесуточная пылевая нагрузка изменялась от 16 мг/м<sup>2</sup>/сут (район вентиляционного шурфа) до 153 мг/м<sup>2</sup>/сут (зона влияния Черногорского разреза [85]), что в целом соответствует низкому уровню загрязнения. По среднему значению суммарного показателя загрязнения территории горного отвода характеризуется низкой степенью загрязнения ( $Z_c$  менее 64), хотя в отдельных точках его значения находятся в пределах 64–128. Относительно местного фона в почвах территории горного отвода в повышенных концентрациях обнаружены скандий, стронций, сурьма, хром, кобальт ( $K_c$  более 3). В отдельных точках фиксируются достаточно высокие содержания брома, бария, редких земель. В золе растений на территории горного отвода установлены повышенные концентрации кальция, брома, тория, бария, стронция, сурьмы и особенно скандия. Многие из указанных элементов отличаются повышенными содержаниями в добываемых здесь углях и глинах.

Денцифрирование и анализ космических снимков зоны Эльгинского угольного месторождения показали, что площадь пылевого пятна, образующегося в результате буровзрывных работ в зимний период 2014–2015 гг. составила 23 км<sup>2</sup> [65]. Основная часть пятна имеет продолговатую форму северо-западного направления и захватывает долину р. Ундыткан, включая пойму реки на протяжении 10,4 км, при этом основная часть загрязнения попадает на северо-восточный склон Токинского Становика. В зависимости от метеорологических условий, реальная площадь пятна может оказаться шире. По сравнению с обнаруживаемым пылевым пятном, образовавшимся в апреле 2014 г. его размеры в 2015 г. возросли в 8 раз. Состав веществ, оседающих на почву и снежный покров в результате эксплуатации Эльгинского разреза на период I очереди строительства ЭУК, состоит преимущественно из неорганической пыли (92,3%) и сажи (7,7%).

При прохождении горных выработок большая часть породной массы (90%) вывозится на породный отвал, а часть (10%) используется на закладку выработанного пространства [14]. Значительные объемы горных пород, извлекаемых в ходе добычи угля, большие площади сельскохозяйственных земель, вовлекаемые в горное производство, а также комплексное воздействие, оказываемое на все элементы ландшафта, создают условия для формирования особых техногенно-трансформированных природных территориальных комплексов. Например, такие комплексы распространены в лесостепной зоне Тульской области и приурочены к территории Подмосковского бурогоугольного бассейна (ПБУБ) [90]. Интенсивное освоение ПБУБ началось в 1930-е гг. и было обусловлено расположением его в урбанизированном и промышленном центре России. Максимальные объемы добычи угля были достигнуты в 1950–60-е годы, однако в начале XXI в. практически все угледобывающие предприятия Тульской области были закрыты. Всего на территории ПБУБ эксплуатировалось около 180 шахт, технология функционирования которых предполагала формирование терриконов – конических отвалов отработанной породы. В каждом из терриконов содержится от 300 до 600 тыс. м<sup>3</sup> токсичных кислых пиритсодержащих отходов; общий объем углесодержащих горных пород в терриконах достигает 100 млн. м<sup>3</sup>.

Формирование терриконов и их последующее развитие привело к изъятию в Тульской области около 1000 га пахотных земель. В большинстве случаев рекультивация отвалов не осуществлялась. Сейчас здесь основное воздействие связано с процессами посттехногенной геохимической трансформации породных отвалов. Формируются новые природно-техногенные геохимические структуры. В основе изменений лежит окислительная трансформация восстановленных веществ, направление и степень выраженности которой обусловлены природными условиями территорий. Трансформация ландшафтов зоны влияния терриконов угольных шахт определяется исходным геохимическим составом углей и вмещающих толщ, а также условиями формирования потоков расседания, в том числе, морфометрическими характеристиками терриконов. Угли ПБУБ бурые, высокозольные, повышенносернистые (содержание серы 3–4%). Фракционный состав вмещающих пород отвалов отличается слабой сортированностью. В состав техногенных отложений входят обломки бурого угля (до 12%), минеральные образования - пирит, марказит, сидерит. Высота отвалов терриконов составляет 30–40 (до 50) м, углы откосов достигают 35–45°. Основными механизмами перераспределения материала террикона являются гравитационный процесс, водная и ветровая эрозия, которые в совокупности формируют поток рассеяния техногенных восстановленных веществ. В результате образуются различные зоны влияния терриконов угольных шахт, сочетание которых определяет структуру природно-техногенных трансаккумулятивных ландшафтов, наиболее характерными из которых являются ландшафты, образованные в зонах распространения делювиальных и пролювиальных шлейфов, периферийных зон шлейфов. Делювиальные шлейфы формируются в результате смыва и гравитационного перемещения материала с поверхности склонов, и его аккумуляции у подножий терриконов. По форме поверхность делювиального шлейфа представляет собой клин шириной 30–50 м (иногда до 100 м), угол наклона которого составляет 3–5°. Пролувиальные шлейфы формируются на плоских днищах эрозионных форм под действием потоков воды. Ширина таких поверхностей составляет 30–50 м, протяженность – 200–250 м. Образование ландшафтов периферийных частей шлейфов обусловлено механизмами незначительного накопления тонкодисперсного материала на участках, где происходит резкое снижение скорости потоков. Ширина таких зон составляет в среднем 50 м, длина может достигать 150–200 м; мощность отложений не превышает 10–20 см. В зоне влияния терриконов угольных шахт ПБУБ, в результате поступления в природные ландшафты восстановленных органических и минеральных соединений, формируются новые почвы, отличающиеся от природных по характеристикам общего окислительно-восстановительного состояния. Техногенные субстраты характеризуются высоким суммарным содержанием потенциально окисляемых восстановителей. Условия формирования почв природно-техногенных ландшафтов определили двучленное строение почвенного профиля – «техногенный делювий (пролювий) – погребенная почва», что обуславливает радиальную дифференциацию показателей окислительно-восстановительного (ОВ) состояния. Техногенные делювиальные и пролювиальные отложения состоят из материала, перемещенного с поверхности терриконов, и вследствие особенностей перераспределения, а также условий накопления, по окислительно-восстановительному состоянию отличаются от техногенных субстратов терриконов. По результатам комплексного анализа с применением статистической обработки была охарактеризована структура окислительно-восстановительного состояния изученных почв с выделением 6 типов окислительно-восстановительного со-

стояния. Установлено, что радиальная структура природных почв и техногенных субстратов однородна и представлена тремя различными типами (K, Z, W). ОВ состояние погребенной под пролювиальными отложениями почвы (W) аналогично лугово-черноземной почве. Техногенные пролювий и делювий, а также погребенные под делювиальными отложениями почвы характеризуются своими типами ОВ состояния (J, M, N), при этом отмечается сближение ОВ характеристик техногенного делювия и гумусового горизонта погребенного чернозема выщелоченного. Таким образом, в почвах природно-техногенных ландшафтов биохимическое окисление протекает медленнее по сравнению с фоновыми участками, сезонный максимум биохимического окисления смещается на вторую половину вегетационного периода [90]. Окислительно-восстановительное состояние природных черноземов выщелоченных характеризуется низкой общей антиоксидантной емкостью (20–40%) и высокой (0,09%), уменьшающейся с глубиной до низкой (0,02%), биохимической антиоксидантной емкостью. Для лугово-черноземных почв свойственна средняя общая антиоксидантная емкость (50–65%) при высокой, характерной для всего почвенного профиля, биохимической антиоксидантной емкости (0,2–0,4%). Техногенные субстраты отличаются высокой общей антиоксидантной емкостью (80–95%) и очень низкой биохимической антиоксидантной емкостью (0–0,003%). Для всей толщи субстрата характерно высокое содержание восстановленных форм элементов-маркеров и суммарного содержания потенциально окисляемых восстановителей. Для дерновых слабообразованных почв, сформированных на техногенном делювии, характерна высокая общая антиоксидантная емкость (80–90%), выраженная как в наносе, так и в горизонтах погребенной почвы. Значения биохимической антиоксидантной емкости в толще техногенного делювия низкие (0,001–0,02%), в погребенной почве они выше – 0,03–0,04%. По сумме потенциально окисляемых восстановителей выявлена конвергенция техногенного делювия и погребенного гумусово-аккумулятивного горизонта. Техногенный пролювий и погребенные почвы характеризуются средней общей антиоксидантной емкостью (60–70%); биохимическая антиоксидантная емкость в наносах средняя (0,02%), а в погребенных почвах – высокая, сходная с природными аналогами. В почвенном покрове районов угледобычи Среднерусской лесостепи выделяется 6 типов окислительно-восстановительного состояния, отличающихся интенсивностью и направлением протекания окислительно-восстановительных процессов.

### **Сброс сточных вод и загрязнение поверхностных вод**

Добыча угля любым способом сопровождается образованием больших объемов сточных вод (шахтных, карьерных, дренажных, поверхностного стока и др.). Шахтные воды на предприятиях угольной промышленности образуются в результате фильтрации подземных и поверхностных вод в подземные горные выработки. Карьерные воды образуются за счет поверхностных, а также подземных вод. Дренажные воды формируются из поверхностных и подземных вод, которые откачиваются на поверхность через дренажные горные выработки или сооружения с целью осушения шахтных или карьерных полей. Поверхностный сток формируется атмосферными осадками (дождь, снег) и поливочно-мочными водами.

Суммарное содержание растворенных солей в шахтных водах изменяется в значительных пределах от 500 до 100000 мг/л и даже выше [30]. Например, из общего объема шахтных вод Украины 52% имеют минерализацию свыше

1 г/л, 10% вод являются кислыми, в том числе с минерализацией более 3 г/л – 2,6% и с минерализацией свыше 5 г/л – 6,0%. Уровни хлоридов находятся в пределах 24–6000 мг/л, сульфатов – 130–8000 мг/л, взвешенных веществ – 20–13000 мг/л. Содержание нефтепродуктов в шахтных водах изменяется от 0 до 50 мг/л и более. Максимальные концентрации нефтепродуктов наблюдались на комплексно-механизированных шахтах «Павлоградуголь» и превышали 50 мг/л, хотя среднее содержание нефтепродуктов в шахтных водах составляет обычно 0,5–2 мг/л и зависит от степени механизации шахт. Содержание микроэлементов в шахтных водах обусловлено их количеством в подземных водах угленосных отложений и процессами, связанными с миграцией элементов из горных пород в шахтные воды. Так, в шахтных водах Восточного Донбасса обнаружено около 30 химических элементов.

Карьерные воды образуются при открытой выемке угля, а в их формировании участвуют поверхностные стоки, поверхностные водоёмы и водотоки, а также подземные и грунтовые воды. В период весенних и осенних паводков при достаточно больших площадях водосбора преобладающее значение имеют поверхностные стоки, а в сухие периоды – подземные воды. Их минерализация составляет 480–870 мг/л, содержание взвешенных веществ – 50–460 мг/л. Дренажные воды образуются при осушении шахтных и карьерных полей с целью улучшения условий эксплуатации месторождений угля. В качестве дренажных выработок используют скважины, пробуренные как с поверхности, так и из подземных горных выработок. Состав и свойства дренажных вод в основном соответствует составу и свойствам природных вод осушаемых участков водоносных горизонтов. Породные отвалы являются основными источниками загрязнения поверхностного стока взвешенными веществами, минеральными солями и ионами тяжелых металлов. Так, количество взвешенных веществ в дождевых водах доходит до 12000, в талых – до 50 000 мг/л, минерализация достигает 8000 мг/л. Максимальное количество железа составляет 7550 мг/л; оно обнаруживается в талых водах отвалов почти всех шахт углеобогачительных фабрик Украины. По данным [30], в шахтных водах Донбасса в составе взвеси доминировали частицы с размерами от 10 до 50 мкм (22–77%), частицы от 5 до 10 мкм составляли 15–35%, менее 5 мкм – 17–53%.

Использование огромных масс взрывчатых веществ на при добыче угля обуславливает поступление в окружающую среду значительных количеств соединений азота. Наиболее важное бризантное взрывчатое вещество – 2,4,6-тринитротолуол (ТНТ). Оно отличается выраженными токсическими свойствами и устойчивостью к биодegradации [76]. Его повышенными и даже очень высокими содержаниями отличаются сточные воды угольных предприятий (табл. 9).

В Ростовской области общий объем шахтных вод, которые в конечном счете поступают в водные объекты, составляет 30,7 млн. м<sup>3</sup>/год, из них очищаются на очистных сооружениях – 24,0 млн. м<sup>3</sup>/год; откачиваются водоотливными комплексами и сбрасываются в реки и на рельеф без очистки около 3,6 млн. м<sup>3</sup>/год, при этом самопроизвольный выход шахтных вод составляет 3,1 млн. м<sup>3</sup>/год [33]. Минерализация шахтной воды колеблется от 3,6 г/л (шахта «Антрацит») до 61,6 г/л (ШУ «Мирное»). Шахтные воды характеризуются очень высокими содержаниями сульфатов, магния, железа, меди, марганца, алюминия и стронция. Основными реками, в которые сбрасываются шахтные воды, являются Лихая, Калитва, Гнилуша, Грушевка, Кундрючья, Атюхта, Аюта, Кадамовка, Малый и Большой Несветай, относящиеся к бассейнам рек Северный Донец, Тузлов, Аксай и в конечном итоге

попадают в реку Дон, являющуюся основным источником пресной питьевой воды. Результаты исследования в районе угольных предприятий Приморского края свидетельствуют о значительном загрязнении сточными водами водных объектов исследуемого района. Так, в ручье Лозовом (Партизанский район Приморского края) содержание хрома составляло от 0,02 до 0,21 мг/л, меди – 0,07–0,17 мг/л. В Шламовом озере содержание хрома составляло 0,118 мг/л, меди – 0,13 мг/л [48].

Таблица 9

**Распределение 2,4,6-тринитротолуола (ТНТ) в сточных (карьерных) водах предприятий по открытой добыче угля (Ольжерасское месторождение) [35]**

| Карьерная вода                        | ТНТ, мг/л |
|---------------------------------------|-----------|
| До фильтрующего массива, участок 1    | 0,0091    |
| После фильтрующего массива, участок 1 | 0,0124    |
| До фильтрующего массива, участок 2    | 0,0690    |
| После фильтрующего массива, участок 2 | <0,0016   |
| ПДК-хозяйственно-питьевое             | 0,01      |

При разработке высокосернистых углей в ряде случаев происходит сернокислый процесс окисления с образованием весьма кислых агрессивных вод, чрезвычайно сильно обогащенных комплексом элементов, концентрации которых нередко превышают предельно допустимые значения, эти воды нередко отличаются высокими содержаниями взвешенных веществ (до 2–4 тыс. мг/л), кислой реакцией (рН до 2,5–4,0), повышенной минерализацией, колеблющейся в широких пределах (от первых сотен до нескольких тысяч мг/л) [55]. По данным [101], с дренажными кислыми водами угольных разработок поступают кадмий, хром, медь, ртуть, никель, цинк и другие элементы.

Так, ухудшение экологической ситуации в Кизеловском угольном бассейне (КУБ) после начала разработки угля шахтным способом во второй половине XX в. было обусловлено в основном высокой обводненностью угледобывающих шахт и высоким содержанием серы в породах угленосной толщи, что приводило к развитию сернокислотного процесса, поскольку при содержании пирита более 4% шахтные воды вследствие его окисления приобретают кислую реакцию (рН=2–3) и сульфатный состав [50]. Эти сульфатно-железисто-алюминиевые и натриево-кальциевые воды имеют минерализацию 2,5–19,0 г/л. В горных выработках формировалось значительное количество кислых шахтных вод, имеющих рН~2–3, минерализацию 1–3 г/л и характеризующихся высоким содержанием сульфат-иона, железа, алюминия, тяжелых металлов, которые в период работы бассейна сбрасывались в реку. В ходе эксплуатации месторождения в связи с увеличением водопритоков, воздухообмена и объема пород, вовлеченных в геохимические процессы, минерализация шахтных вод может возрастать. В кислой шахтной воде по сравнению с природной на несколько порядков выше содержание свинца, меди, цинка, серебра, никеля, кобальта и др. При работе угледобывающих предприятий шахтные воды сбрасывались в местную гидросеть без очистки (объемом до 100 млн м<sup>3</sup> в год) [52]. Особенностью Кизеловского угольного бассейна является интенсивная карстованность [52]. Карст здесь относится к голому и покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод в зоне их активной циркуляции от

режима атмосферной циркуляции осадков. Вследствие дислоцированности угленосной толщи, больших глубин ее разработки (до 1000 м) и закарстованности вышележащих известняков условия добычи угля в КУБ характеризуются как сложные. В зонах развития карста водопритоки в шахты в свое время достигали 2500 м<sup>3</sup>/ч. Таким образом, в пределах Кизеловского угольного бассейна имелись условия для интенсивного загрязнения окружающей среды при разработке угольных пластов [50, 52]. Шахты Кизеловского бассейна в период эксплуатации были одними из самых обводненных в стране. В силу особенностей геолого-гидрогеологических условий территории, шахты бассейна характеризуются значительными водопритоками. В период эксплуатации шахтами здесь ежегодно сбрасывалось в реки практически без очистки ~ 100 млн. м<sup>3</sup> загрязненных шахтных вод, содержащих большое количество сульфатов, Fe, Al. Средний суммарный водоприток в шахты в период их работы составлял 12–14 тыс. м<sup>3</sup>/час. Химический состав шахтных вод зависит в основном от гидродинамических условий, содержания в угленосной формации серы, карбонатов и рассеянных элементов. Трещинно-карстовые воды карбонатных пород, обладающие высоким окислительным потенциалом, нейтральной средой, гидрокарбонатно-кальциевым составом и минерализацией 0,06–1,5 г/л взаимодействуют в шахтах с богатыми серой угленосными породами и преобразуются в сульфатные железисто-алюминиевые натриево-кальциевые воды с минерализацией 2,5–19 г/л. В ходе эксплуатации она возрастает до 35 г/л. Для кислых шахтных вод характерны высокие содержания цинка, никеля, меди, свинца, марганца, кобальта, стронция и других микроэлементов (табл. 10, 11). Как подземные, так и особенно шахтные воды КУБ отличаются чрезвычайно высокими концентрациями практически всех главных ионов и многих химических элементов.

Постоянный и интенсивный сток шахтных вод привел к тому, что химический состав рек в период эксплуатации шахт приблизился к химическому составу шахтных вод. Малые реки до впадения в них шахтных вод имели HCO<sub>3</sub>-Ca гидрохимическую фацию, минерализацию 90–150 мг/л и близкую к нейтральной реакцию среды. Ниже по течению стока шахтных вод они приобретают сульфатный железисто-алюминиевый состав при минерализации от 640 до 6000 мг/л. Содержание сульфатов – от 1000 до 3700 мг/л, железа – от 70 до 900, алюминия – от 11 до 160 мг/л при pH 2,5–2,9. Сброс шахтных вод в карстовые долины приводил к временному затуханию карстовых процессов в донной части суходолов и увеличению зоны поверхностного стока от верховьев к устьям. В результате сброса изменялся состав воды крупных рек. Так, для р. Косьвы ниже г. Губахи были характерны повышенная минерализация, увеличение содержания сульфатов и значения pH – 4–6.

Важно отметить, что после ликвидации шахт КУБ и прекращения откачки шахтных вод кислые стоки стали самопроизвольно изливаться на поверхность и загрязнять поверхностные водотоки. Разнообразие видов наземной растительности на участках воздействия последствий угледобычи значительно снижено и наибольшей степени достигает на территориях отвалов, промплощадок угольных шахт и участках прежнего сброса кислых шахтных вод. Водная растительность рек, в которые поступают шахтные воды, либо отсутствует, либо представлена сильно угнетенными особями. Фауна наземных позвоночных территории исследований составляет 16–17% от общего количества животных, обитающих в границах Пермской области. На участках рек с высокими и экстремально-высокими уровнями загрязнения воды ихтиофауна значительно обеднена, фауна водных беспозвоночных малочисленна, вплоть до полного ее отсутствия.

Таблица 10

**Химический состав подземных и шахтных вод Кизеловского угольного бассейна, мг/л [55]**

| Компонент                       | Подземные воды | Шахтные воды | Среднее в реках мира [22] |
|---------------------------------|----------------|--------------|---------------------------|
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 12–280         | –            | 58,4                      |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>   | 2–99           | 644–6174     | 11,2                      |
| Cl <sup>-</sup>                 | 2–44           | 7–74         | 7,8                       |
| Ca <sup>2+</sup>                | 4–148          | 40–243       | 14,6                      |
| Mg <sup>2+</sup>                | 0,5–24         | 17–115       | 4,1                       |
| Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> | 0,5–10         | 115–629      | 8,6                       |
| Fe <sub>общ</sub>               | –              | 131–3727     | 0,04                      |
| Al <sup>3+</sup>                | –              | 29–494       | 0,05                      |
| Минерализация                   | 60–1500        | 2500–19000   | 105,1                     |
| pH                              | 7,3–7,5        | 2,2–3,1      | –                         |

Таблица 11

**Химические элементы в подземных и шахтных водах Кизеловского угольного бассейна, мкг/л [49, 51]**

| Компонент | Подземные воды | Шахтные воды | Среднее в реках мира [22] |
|-----------|----------------|--------------|---------------------------|
| Свинец    | 1,7            | 3–22         | 1                         |
| Медь      | 3              | 48–560       | 7                         |
| Цинк      | 7,9            | 630–1100     | 20                        |
| Серебро   | 0,52           | 10–27        | 0,2                       |
| Никель    | 7,1            | 36–3890      | 2,5                       |
| Кобальт   | 0,64           | 67–2880      | 0,3                       |
| Молибден  | 0,1            | 5–10         | 1                         |
| Ванадий   | 2,9            | 180–250      | 1                         |
| Хром      | 1,6            | 25–102       | 1                         |
| Барий     | 53             | –            | 40                        |
| Стронций  | 61             | 2700–9200    | 50                        |
| Титан     | 53             | 280–910      | 3                         |
| Марганец  | 74             | 650–33000    | 10                        |

### Изменение гидрогеологических условий и загрязнение подземных вод

Формирование загрязненных подземных вод в пределах территории угольных разработок происходит на фоне региональных изменений уровня режима водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных как к продуктивной толще, так и залегающим выше пустым породам. Некоторые авторы выделяют здесь три зоны: I – зона ненарушенных природных условий, площадь которой сокращается в зависимости от применяемой технологии отработки месторождения; II – зона преимущественного развития техногенных процессов эжекционного типа; III – зона преобладания техногенных процессов инжекционного типа [84]. Зона II образуется в результате работы осушительного дренажа. Размеры ее в плане и разрезе определяются особенностями угленосной формации и технологией отработки месторождения. Класс формации и ее структурные особенности обуславливают глубину, а следовательно, и способ отработки. В районе шахтных полей

формируются депрессионные воронки площадью 100–3500 км<sup>2</sup>. Так, в районе шахт Западного Донбасса за 80-летний период угольных разработок сформировалась депрессионная воронка диаметром 400 км с глубиной депрессии 40 м. Для Подмосковского угольного бассейна характерна воронка депрессии размером 3000 км<sup>2</sup> при средней глубине 10–20 м. При отработке угольных месторождений открытым способом техногенное влияние на уровеньный режим подземных вод усиливается вплоть до полного дренирования отдельных водоносных горизонтов. Зона III характеризуется следующими техногенными процессами, меняющими природную гидрогеологическую обстановку: 1) увеличением инфильтрационного питания за счет дополнительного поступления из накопителей шахтных и карьерных вод и жидкой фазы пульпы из шламохранилищ углеобогадательных комбинатов; атмосферных осадков в результате нарушения сплошности покрова слабопроницаемых отложений при вскрышных работах и изменения водопроводящих свойств пород в процессе их сдвижения при шахтной отработке месторождений; поверхностных вод вследствие инверсии режима поверхностных водоемов и водотоков (превращения их из естественных дрен в источники питания), а также сдвижения пород шахтных полей; 2) загрязнением подземных вод атмосферными осадками, содержащими продукты выщелачивания отвалов пустых пород, шахтными и карьерными водами, откачиваемыми в накопители и поверхностные водоемы и водотоки, сточными водами углеобогадательных комбинатов. Таким образом, загрязнение подземных вод в основном происходит в III зоне. Во II зоне оно наблюдается в результате подтягивания более минерализованных вод нижележащих горизонтов в процессе эксплуатации дренажа и поступления продуктов метаморфизации осушенных пород. Из большого числа загрязняющих компонентов приоритетное значение здесь имеют продукты окисления пирита и сульфидных минералов тяжелых металлов, содержащихся в углях и пустых породах; сернокислотного выщелачивания алюмосиликатов и карбонатов пустых пород. Указанные процессы имеют место и в отвалах пустых пород. Окисление перечисленных минералов, как правило, усиливается с увеличением размеров зоны аэрации и площади отвалов пустых пород на поверхности. Общая площадь депрессионных воронок только в Кемеровской области достигает 2 тыс. км<sup>2</sup> [50].

Заметное влияние на химический состав почв и подземных вод оказывают отвалы, расположенные в Подмосковном бассейне, сложенные пиритсодержащими породами [6]. Грунтовые воды в зоне отвалов отличаются повышенными уровнями железа (до 1,5 мг/л), сульфатов (565 мг/л), алюминия (5,95), марганца (1,52), их минерализация достигает 1400 мг/л, они отличаются повышенной жесткостью. Выделяются две зоны влияния отвалов шахт на грунтовые воды. Первая зона интенсивного устойчивого загрязнения вод характеризуется повышенными значениями (до 100 раз выше фоновых значений) многих показателей химического состава и распространяется на 100–150 м от отвала. Вторая зона неустойчивого загрязнения, где повышенные концентрации характерны для одного-двух показателей и не превышают фоновых значений более чем в 2–3 раза. Эта зона может распространяться по потоку грунтовых вод на несколько сотен метров.

Авторами [102] были изучены органические соединения в пластовых водах, используемых для добычи метана угольных пластов в Австралии. Исследования показали наличие полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в 27% проб воды при концентрациях <1 мг/дм<sup>3</sup>, и, скорее всего, эти соединения вымываются из углей. ПАУ, идентифицированные в скважинных водах, включают нафталин, фенантрен, хризен и дибензо(a,h)антрацен.

Показана вероятность выщелачивания ПАУ в грунтовые воды в экспериментах с использованием углей различных марок. Эксперименты показали, что высокомолекулярные ПАУ (включая бенз(а)пирен), выщелачиваются из высших углей, в то время как ПАУ с более низкой молекулярной массой выщелачиваются при больших концентрациях от более низкого ранга угля.

При эксплуатации шахт Кизеловского угольного бассейна естественный гидродинамический режим подземных вод претерпевал значительные изменения [52]. Водоносные горизонты, оказавшиеся в сфере влияния горных выработок, испытывали дренирующее влияние шахт. Дренажное водоносных горизонтов происходило по естественным и техногенным трещинам. В ряде случаев подземные воды поступали непосредственно в горные выработки, вскрывшие водоносные горизонты. Движение подземных вод было направлено в сторону горных работ, имевших более низкие отметки, чем естественные дрены. Уровни подземных вод снижались до нескольких сотен метров от поверхности земли, что привело к истощению водоносных горизонтов. Наибольшему истощению подвергались подземные воды везейского (нижнего надугольного) водоносного горизонта).

### **Влияние ликвидации шахт на окружающую среду**

Кизеловский угольный бассейн, находящийся в Пермском крае, является классическим примером того, как после ликвидации угледобывающих предприятий, работавших с XVIII века, обостряются экологические проблемы [52]. Как уже отмечалось выше, ликвидация шахт Кизеловского угольного бассейна связанная с отработкой большей части запасов угля и дальнейшей нерентабельностью их разработки привела к обострению ряда экологических проблем. В пределах бассейна к основным источникам загрязнения окружающей среды относятся 16 участков самопроизвольного излива кислых шахтных вод на поверхность; загрязненные шахтными водами русла и поймы рек; 53 породных отвала общей площадью более 300 га; территории промплощадок угольных шахт; зоны влияния отвалов и промплощадок; участки прежнего сброса кислых шахтных вод; отстойники твердых отходов угледобычи и техногенные водоемы; территории угледобывающих городов и шахтных поселков [8]. Оценка ландшафтного разнообразия территории показала, что влияние угледобычи привело к сокращению площади ценных урочищ. В целом для территории бассейна изменение структуры и функциональных показателей ландшафтного спектра под влиянием антропогенной нагрузки привели к снижению фитопродукционного потенциала в среднем на четверть.

По мнению [52], экологическая ситуация в Кизеловском бассейне (КВБ) является одной из наиболее острых в России. Во многом она предопределена особенностями геологического строения и геохимией угленосной толщи. При затоплении шахт КВБ наблюдается существенное изменение гидродинамического режима подземных вод, сформировавшегося в процессе эксплуатации угледобывающих предприятий. Наблюдается восстановление сработанных ранее уровней подземных водоносных комплексов. Затопление шахт происходит за счет подземных вод трещинно-карстовых водоносных горизонтов и сопровождается восстановлением их уровней [46]. После закрытия и ликвидации шахтного водоотлива, горные выработки стали затопливаться, и на ряде шахт происходит самоизлив шахтных вод на земную поверхность. Величина самоизлива из затопленных шахт составляет от 20 до 80% от объема шахтных вод во время эксплуатации. На территории шахт-

ных полей в результате затопления шахт образуются техногенные водоносные горизонты шахтных вод. Область распространения техногенных водоносных горизонтов зависит от объемов затопления отработанных шахтных полей. В ряде случаев, максимальные отметки затопления горных выработок могут оказываться выше статического уровня подземных вод, вследствие этого на участках гидравлической связи между шахтными и подземными водами, будет происходить движение шахтных вод из горных выработок в водоносные горизонты, загрязняя последние.

В связи с формированием шахтного самоизлива происходит существенное изменение химического состава шахтных вод [52]. Так, в начальный период затопления шахт наблюдалось повышение минерализации и концентраций основных загрязняющих компонентов в шахтных водах, увеличение их кислотности. В последующем происходило постепенное снижение уровня их загрязнения. Шахты закрывались и затопливались в разное время и продолжительность излива воды из них разная, соответственно, стабилизация химического состава шахтных вод происходит не одновременно. Процесс этот длительный, так на шахтах, где самоизливы происходят уже 40 лет, воды остаются кислыми и загрязненными. В начале излива шахтных вод их загрязненность обычно возрастает. После полного затопления шахт резко снижается поступление кислорода в горные выработки, что сопровождается замедлением процессов разложения пирита и образования сульфатов железа и алюминия. В процессе водообмена загрязненные шахтные воды постепенно вытесняются менее загрязненными. Происходит снижение концентрации основных загрязняющих компонентов, сменяющееся стабилизацией химического состава шахтных вод на уровне более низком, чем в период эксплуатации. Установлено, что давно закрытые шахты имеют в настоящее время на изливе воду с меньшей концентрацией загрязняющих веществ, чем в период из работы. В настоящее время существует более 14 участков самоизлива шахтных вод на поверхности. Их суммарный среднегодовой расход составляет около 2,5 тыс. м<sup>3</sup>/час, что в несколько раз меньше, чем в период активной добычи угля. Однако значительно увеличилась их минерализация – до 25 г/л и более, химический состав изменился в худшую с экологической точки зрения сторону [50]. Произошло резкое увеличение концентрации двухвалентного железа – до 5 г/л. При смешивании с речными водами и с увеличением pH, Fe<sup>2+</sup> больше, чем Fe<sup>3+</sup> преобразуется в осадок, что привело к значительному загрязнению рек на протяжении десятков километров до самых устьев. На загрязняемых участках рек ежесуточно формируется около 80 т техногенных донных осадков, представленных аморфными гидроксидами железа и алюминия, с высоким содержанием Mn, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd и др. [52]. При смыве в Камское водохранилище и р. Чусовую они являются вторичным источником загрязнения рек, что представляет угрозу для централизованного питьевого водоснабжения. Уже в настоящее время фиксируются превышения ПДК железом на водозаборе Вехнечусовских Городков, чего не наблюдалось в период эксплуатации угольных шахт. Таким образом, в современных условиях отдельные реки-приемники шахтных вод загрязняются более интенсивно и на большем протяжении, чем при работе угольных шахт.

Проблемная ситуация складывается и на дальнем Востоке нашей страны. Здесь геохимическая специфика подземных вод техногенного комплекса природно-техногенных структур Приморья и Сахалина закладывается в области питания и трансформируется в направлении фильтрационного потока по схеме:  $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Na(Mg)}$  [83]. Она определяется соотношением взаимодействующих масс породы и воды,

контролируется парциальным давлением  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в системе «вода–порода» и процессами вторичного минералообразования. Формирование геохимических типов подземных вод в природно-техногенных структурах зависит от состава пород осадочных бассейнов и, в первую очередь, от наличия в угольных и надугольных толщах морских, соленосных и пресноводных групп геологических формаций, которые определяют направленность процессов растворения в системе «вода–порода». Установлено, что подземные водоносные горизонты при затоплении угольных шахт Приморья и Сахалина не восстанавливаются в прежних параметрах и координатах, а формируют гидравлически связанный техногенный водоносный комплекс [83]. Его формирование определяется особенностями современной гидрогеологической стратификации надугольной и угольной толщ, масштабами зоны водопроводящих трещин, величиной водопритока и емкостными характеристиками сдренированного массива. Влияние техногенного водоносного комплекса на бассейн подземных вод и поверхностные водотоки в районах ликвидированных угольных шахт носит локальный в пространстве характер. Особенности сформировавшейся гидрогеологической структуры определяют размеры гидрогеохимических полей техногенно-трансформированных вод и масштабы их экологического воздействия на окружающую природную среду. Наблюдения за динамикой затопления шахт Сахалина не выполнялись, тем не менее известно, что затопление шахты «Мгачи» происходило в течение 48 мес. В мае 2000 г. в урочище нерестовой р. Рождественка на расстоянии около 4,5 км от устья произошел выход подземных вод техногенного комплекса на поверхность с отработанного пространства восточного крыла синклинали. Выход вод осуществляется из-за перемычки бремсберга абсолютной отметкой устья +48,5 м. Дебит излива изменяется от 60 до 250 м<sup>3</sup>/ч, вода бурным потоком стекает в пойму реки, вызывая ее затопление на участке длиной 150 м и шириной 50–100 м.

Исследования и анализ данных, полученных при ведении гидрохимического мониторинга в районе шахты «Бошняково», указывают на то, что в результате затопления шахты сформировался очаг загрязнения, представляющий собой подземные воды с повышенными концентрациями сульфатов, натрия, железа, цинка, марганца, меди, аммонийного азота, магния, хрома шестивалентного, бора, фенолов и нефтепродуктов [83]. Наиболее низким качеством характеризуется вода, изливающаяся из устья штольни № 3 (абс. отм. + 60,0 м). Здесь фиксируются максимальные значения минерализации, гидрокарбонатов, натрия, железа и фенолов. Изливающиеся на земную поверхность воды техногенного комплекса оказывают непосредственное влияние на качество вод р. Мутная и руч. Угольный. На воды остальных водотоков техногенного воздействия не зафиксировано.

Одной из причин загрязнения воздуха при закрытии шахт является вытеснение водой из горного массива на земную поверхность опасных газов (метана и углекислоты) [33]. После попадания на поверхность газы проникают в здания и сооружения, а их негативные последствия могут проявляться далеко за пределами горных отводов шахт, ликвидированных в процессе реструктуризации, поскольку большинство из них имеет связь по горным выработкам или тектоническим нарушениям с закрытыми раньше шахтами. Другим немаловажным техногенным фактором является разрушение крепящего материала выработок путем выщелачивания и размывания горных пород, в результате чего образуются провалы или мульдосаждения. Все это происходит в результате затопления выработанного пространства на верхних горизонтах шахт, в том числе и ранее закрытых. Как правило, закреп-

ленные на выходах пластов провалы земной поверхности подогнаны к подготовительным выработкам и краевым частям целиков угля. Долгие годы водоотливы действующих шахт, осушая большие территории, приводили к понижению естественного уровня подземных вод. Но при закрытии шахт методом «мокрой консервации» начался обратный пропорциональный процесс: в границах горнопромышленных районов возникли проблемы подтопления и заболачивания. Изменение режима уровня подземных вод, многократно превышающих границы горных работ в пределах зон влияния шахтных водоотливов, а также высокий уровень инженерного освоения и техногенных нагрузок на площадях оседания земной поверхности являются причинами подтопления горнопромышленных районов. Результатом действия этих факторов становится устойчивый рост площадей территорий со значительным уменьшением глубин залегания подземных вод и активным развитием процессов подтопления жилищно-коммунальных и промышленных объектов, сельхозугодий, коммуникационных объектов и транспортных магистралей.

### **Влияние отходов угледобычи на окружающую среду**

Характерной особенностью разработок угольных месторождений является удаление больших масс вскрышных и вмещающих пород, годовые объемы которых в несколько раз превышают объемы добываемого угля. Поэтому основными отходами при добыче угля открытым и подземным способом являются вскрышные и вмещающие породы, которые образуют многочисленные отвалы. Породы, поступающие в отвал (терриконы), образуются за счет проходки выработок, их ремонта и восстановления.

Отходы угледобычи по источнику образования подразделяются на шахтные и вскрышные породы, свежедобытые или складированные в отвалах и терриконах. При подземном способе разработки угля породы, извлекаемые из горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, так же как и неотрабатываемые селективно в качестве попутных полезных ископаемых породы вскрыши, формируют складированные на поверхности терриконы (отвалы) – отходы добычи [58]. Отходы добычи и обогащения углей (хвосты, шламы) могут использоваться как энергетическое и технологическое топливо, и органоминеральное сырье при производстве строительных материалов, а также в качестве материала для планировки земель и рекультивации почв. Отходы добычи характеризуются обычно изменчивым и нестабильным составом, что ограничивает возможности их использования. Во всех случаях изучаются и оцениваются почвенно-растительный слой и возможности использования вскрышных пород для рекультивации земель. Отходы углеобогащения характеризуются более стабильным составом и большими возможностями его усреднения. При добыче 1 т угля образуется 0,25 т шахтной породы и 7 т вскрышных пород, при обогащении углей – 0,23 т хвостов обогащения [45].

В литологическом отношении отвалы представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем и другими породами. В них присутствует древесина, металлические предметы. Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб [52, 58]. Площади влияния отвалов в несколько раз превышает площади самих отвалов. В зависимости от технологии отвалообразования формируются отвалы следующих типов: конические (терриконы), хребтовые и плоские. Отвалы принимают породу от отдельной шахты, обогатительной фабрики или от группы

угольных предприятий. Наибольший вред природному ландшафту наносится отсыпкой конических и хребтовых отвалов, высота которых в отдельных случаях достигает 110–120 м. Например, в Кемеровской области отвалы угольных предприятий занимают почти 40 тыс. га, что составляет 0,4% ее площади [53]. Площадь, подлежащая рекультивации в регионе, – 4938,5 га, рекультивировано после реструктуризации угольной промышленности Кузбасса только около 160 гектаров. В результате перемещения и складирования отходов происходит формирование техногенных массивов [31]. Здесь угольная промышленность создает более половины отходов. Например, в 2013 г. на территории Кемеровской области образовалось 2661,281 млн. т отходов производства и потребления, из них 2593,780 млн. т (97,46 %) приходится на отходы, образованные при добыче угля [28]. В процессе добычи угля к выходу на проектную мощность III очереди строительства Эльгинского разреза (27,0 млн. т в год) образуются большие пространства, нарушенные горными выработками (площадь > 3 тыс. га), отвалами пород ( $S = 1336$  га) и отходами переработки, представляющие собой бесплодные поверхности, отрицательное влияние которых распространится на окружающие территории (рис. 8).



Рисунок 8. Отвальное хозяйство Эльгинского угольного комплекса [65].

В Донбассе за 200 лет добычи угля образовалось более 1500 терриконов угольных шахт [40]. Их высота достигает 100 м, углы откосов  $45^\circ$ , занимаемая площадь – десятки гектаров. Они пылят, горят, подвергаются размыву, являются источниками радиоактивности, под их отсыпку отводятся плодородные земли. Породы отвала отличаются (от земной коры) повышенными концентрациями ртути, хрома, олова, цинка (табл. 12).

Химические элементы в горных породах терриконов Донбасса, мг/кг [72]

| Элемент  | Породы терриконов | Верхняя часть континентальной коры [24] |
|----------|-------------------|---|
| Ртуть    | 0,13              | 0,065                                   |
| Свинец   | 15                | 17                                      |
| Медь     | 30                | 39                                      |
| Мышьяк   | 7                 | 5,6                                     |
| Ванадий  | 90                | 120                                     |
| Марганец | 375               | 770                                     |
| Галлий   | 10                | 19                                      |
| Никель   | 35                | 50                                      |
| Хром     | 137,5             | 92,4                                    |
| Кобальт  | 8                 | 17                                      |
| Барий    | 400               | 510                                     |
| Бериллий | 2                 | 2,3                                     |
| Молибден | 1,5               | 1,56                                    |
| Олово    | 6,3               | 3,5                                     |
| Литий    | 62,5              | 33                                      |
| Цинк     | 92,5              | 75                                      |

В Читинской области настоящему моменту в области накоплено большое количество отходов угледобывающих предприятий – более 2268 млн. т (86,4% от общей массы отходов горнопромышленного комплекса) [88]. Практически вся эта масса представлена породами внешней и внутренней вскрыши. Из общей величины отходов угледобывающих предприятий наибольший процент приходится на долю Харанорского угольного разреза (90,6%). Эти отходы отличаются высоким содержанием железа, алюминия и присутствием свободной серы, содержа. Отвалы вскрышных пород Харанорского угольного разреза отличаются относительно невысоким концентрациями в них тяжелых металлов [87] (табл. 13). В верхнем слое почв в зоне влияния угольного разреза также не наблюдалось накоплениями металлов, что, по мнению автора цитируемой работы, во многом объясняется легким механическим составом почв, преобладанием частиц крупных фракций, невысоким содержанием органического вещества, малой емкостью поглощения. Большое влияние оказывает низкое содержание микроэлементов в исходных горных породах. В пределах краевых частей терриконов существуют локальные очаги окисления грунта, где существенного повышения температуры не отмечается, однако наблюдается выделение парообразной серной кислоты и налеты новообразованной сульфатной минерализации. Вокруг очагов горения формируется своеобразная зональность, обусловленная перераспределением исходного вещественного состава [26]. Вскрышные породы Павловского разреза отличаются повышенными и даже высокими уровнями кадмия и серы (табл. 14).

Территории, занимаемые отвалами, лишены плодородного почвенного слоя; иногда породы шахтных отвалов содержат пирит, подвижные формы железа, алюминия, характеризуются низкими значениями рН, высокой гидролитической кислотностью, что обуславливает их фитотоксичность [47]. Исследования состава пород отвалов одной из шахт Кизеловского бассейна показало, что они характеризуются высокой кислотностью, повышенным

содержанием подвижных форм алюминия и железа, высоким содержанием пиритной серы. Небольшая питательная ценность пород (содержание фосфора и калия в доступной для растений форме составляет соответственно 3,7 и 7,4 мг/100 г, общего азота 0,03%) также лимитирует развитие микроорганизмов, что свидетельствует о низкой биогенности породы. Почвы вблизи отвалов в Подмосковном бассейне, сложенных пиритсодержащими породами, отличаются повышенными содержаниями железа и алюминия [6].

Таблица 13

**Химические элементы в отвалах Харанорского угольного разреза, мг/кг [87]**

| Показатель               | Отвал     | Верхняя часть континентальной коры [24] |
|--------------------------|-----------|---|
| Никель                   | 22,32     | 50                                      |
| Медь                     | 11,31     | 39                                      |
| Цинк                     | 25,6      | 75                                      |
| Кадмий                   | 0,06      | 0,64                                    |
| Кобальт                  | 10,03     | 17                                      |
| Свинец                   | 13,17     | 17                                      |
| Марганец                 | 285,7     | 770                                     |
| Органическое вещество, % | 1,31–3,08 | 0,81                                    |

Таблица 14

**Химический состав вскрышных пород Павловского разреза, Приморский край, мг/кг [60]**

| Элемент | Глубина отбора проб, см |       |       | Верхняя часть континентальной коры [24] |
|---------|-------------------------|-------|-------|---|
|         | 0–20                    | 30–40 | 40–60 |   |
| Никель  | 10,0                    | 24,0  | 16,5  | 50                                      |
| Цинк    | 81,5                    | –     | 27,1  | 75                                      |
| Медь    | 13,1                    | 23,6  | 16,5  | 39                                      |
| Кадмий  | 0,3                     | 1,5   | 3,1   | 0,64                                    |
| Свинец  | –                       | 20,9  | –     | 17                                      |
| Хром    | 23,4                    | 58,1  | 36,8  | 92,4                                    |
| Сера    | 54629                   | –     | –     | 1400                                    |

Вскрышные и вмещающие породы угольных месторождений Кемеровской области содержат повышенные и даже высокие (особенно по максимальным значениям) концентрации ряда химических элементов (табл. 15). Так, вскрышные породы отличаются высокими уровнями ртути и сурьмы, повышенными – хрома, цинка, марганца, молибдена и мышьяка. Вмещающие породы – высокими содержаниями ртути, сурьмы, молибдена, повышенными – кадмия, мышьяка. Указанные породы в целом характеризуются довольно высокими относительными содержаниями подвижных форм многих химических элементов, а удельные концентрации этих форм достаточно стабильно превышают уровень существующих ПДК в почвах (табл. 16).

Особенно ярко это проявляется для максимальных содержаний металлов, установленных во вскрышных и вмещающих породах (рис. 9). Это свидетельствует о потенциальной подвижности элементов и их способности активно включаться в геохимическую миграцию. Для ряда элементов удельные концентрации (особенно максимальные) их водорастворимых форм превышают ПДК<sub>рх</sub> (табл. 17). Авторы цитируемой работы полагают, что загрязнение

водных объектов Кемеровской области V, Cu, Mo, Ni, As, Mn, Cr, Zn происходит и за счет вымывания их при фильтрации природных водных потоков через массы вскрышных и вмещающих пород.

Таблица 15

**Общее содержание химических элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса [36]**

| Элемент  | Вскрышные породы (n = 60) | Вмещающие породы (n = 52) | Верхняя часть континентальной коры [24] |
|----------|---------------------------|---------------------------|---|
| Ванадий  | 33,6–145,6                | 30,0–145,6                | 120                                     |
| Медь     | 14,2–52,0                 | 9,8–38,4                  | 39                                      |
| Хром     | 21,6–171,2                | 20,0–123,3                | 92,4                                    |
| Свинец   | 10,0–51,7                 | 2,0–22,6                  | 17                                      |
| Никель   | 16,0–56,4                 | 19,4–56,0                 | 50                                      |
| Кадмий   | 0,4–0,8                   | 0,4–2,0                   | 0,64                                    |
| Цинк     | 46,0–137,6                | 8,4–68,2                  | 75                                      |
| Ртуть    | <0,01–5,0                 | <0,01–7,1                 | 0,064                                   |
| Сурьма   | <1,0–5,0                  | <1,0–6,5                  | 0,81                                    |
| Кобальт  | 7,9–15,2                  | 5,2–7,2                   | 17                                      |
| Марганец | 304,0–1334,0              | 78,6–994,4                | 770                                     |
| Молибден | 4,0–6,0                   | 4,0–10,0                  | 1,56                                    |
| Мышьяк   | 3,6–12,1                  | 4,8–18,2                  | 5,6                                     |

Таблица 16

**Подвижные формы химических элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса [36]**

| Элемент  | Вскрышные породы (n = 60) | Вмещающие породы (n = 52) | ПДК в почвах |
|----------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Медь     | 3,0–17,2                  | 3,0–23,8                  | 3,0          |
| Никель   | 5,0–13,6                  | 7,3–21,0                  | 4,0          |
| Цинк     | 19,0–82,4                 | 6,1–49,9                  | 23,0         |
| Свинец   | 10,0–51,7                 | 2,0–22,6                  | 6,0          |
| Марганец | 31,0–539,0                | 26,0–510,8                | 60–140       |
| Хром     | <2,0–4,5                  | <2,0–5,4                  | 6,0          |
| Молибден | 0,2–1,2                   | <0,05–1,8                 | –            |
| Кобальт  | 0,08–0,1                  | 0,08–0,12                 | 5,0          |

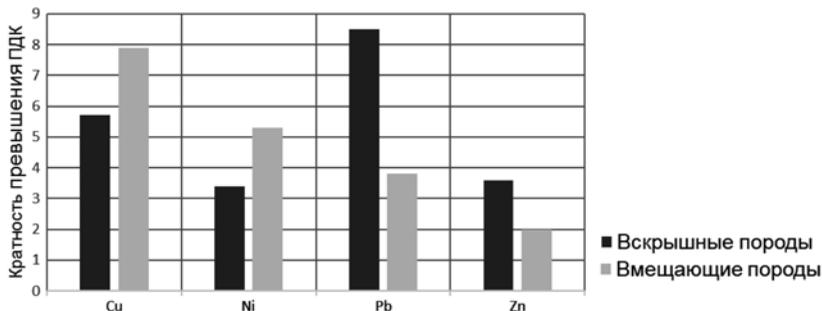


Рисунок 9. Максимальное превышение ПДК подвижных форм элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса [36].

**Водорастворимые формы химических элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных предприятий Кузбасса [36] \***

| Элемент  | Вскрышные породы<br>(n = 60) | Вмещающие породы<br>(n = 52) | ПДК в воде водных объектов<br>рыбохозяйственного<br>значения [61]** |
|----------|------------------------------|------------------------------|---|
| Ванадий  | <0,0005–0,085                | <0,0005–0,02                 | 0,001   |
| Кадмий   | <0,0005–0,0026               | <0,0005                      | 0,01  |
| Кобальт  | <0,0002–0,0015               | <0,0002–0,010                | 0,01  |
| Сурьма   | <0,0005–0,015                | <0,0005–0,015                | 0,05  |
| Медь     | <0,001–0,08                  | <0,001–0,2                   | 0,001   |
| Молибден | <0,001–0,15                  | <0,001–0,39                  | 0,001   |
| Никель   | <0,0002–0,028                | <0,0002–0,03                 | 0,01  |
| Мышьяк   | <0,005–0,13                  | <0,005–0,01                  | 0,05  |
| Свинец   | <0,0002–0,02                 | <0,0002–0,0009               | 0,006   |
| Ртуть    | <0,00001                     | <0,00001–0,00002             | 0,00001   |
| Марганец | <0,005–0,2                   | <0,005–0,23                  | 0,01  |
| Хром     | <0,005–0,10                  | <0,005–0,055                 | 0,02  |
| Цинк     | <0,005–0,51                  | <0,005–0,23                  | 0,01  |

\* Водная вытяжка выполнялась при соотношении твердое вещество : жидкость = 1:1.

\*\* Это сравнение, безусловно, во многом условное, но достаточно показательное.

По данным С.В. Алистратова [2], основными источниками поступления ртути в окружающую среду при угледобыче служат угольные отвалы. Например, средние содержания данного металла в отвалах Подмосковского угольного бассейна изменяется от 0,24 до 1,3 мг/кг, достигая в отдельных пробах 3,3 мг/кг, что значительно превышает кларк литосферы. Концентрация ртути в разных отвалах может различаться в несколько раз в зависимости от породы, составляющих отвалы на том или ином месторождении, времени их отсыпки и интенсивности гипергенной переработки. Автор цитируемой работы отмечает, что при гипергенных изменениях материала отвалов часть ртути улетучивается в атмосферу, что обуславливает формирование геохимических потоков ее, которые создают в почвах обширные по площади, но относительно слабоинтенсивные аномалии этого элемента. Уровни содержания ртути в почвах колеблются в пределах 0,04–0,08 мг/кг, что в 4–6 раз выше местного фона. Повышенные концентрации, как правило, характерны для гумусовых горизонтов почв. Ртуть поступает в почву также с поверхностным стоком и фильтрационными водами (в составе взвесей и растворов). При этом в почвах формируются локальные, но довольно контрастные геохимические аномалии металла. Особенно высокие концентрации его фиксируются в наносах, образующихся на поверхности почв за счет отложения техногенного материала (здесь концентрации ртути в среднем в 4 раза выше кларка литосферы и в 30 раз выше местного фона в почвах). В гумусовых горизонтах почв концентрации ртути достигают 0,06–0,4 мг/кг (в 5–30 раз выше фона). Особое значение имеет самовозгорание угля в шахтах, углеразрезах, в естественном залегании и в отвалах пород, которое может сопровождаться поступлением ртути в атмосферу. При горении отвалов температуры достигают 800–1000°C и более (в скрытых воронках), что приводит к разрушению сульфидных и глинистых минералов, выгоранию всех

органических веществ. Ртуть, содержащаяся в породах, возгоняется и улетучивается в атмосферу. По расчетам Л.А. Добрянского и др. [27], от всей массы горных пород, поступившей на терриконы угольных шахт Горловки в 1989 г., выбросы ртути составляют 230 кг/год. Обогащение ртутью атмосферы на терриконах подтверждается и прямыми замерами. В частности, на породных терриконах шахт г. Горловки концентрации паров ртути в воздухе летом 1990 г. варьировали от 57 до 13700 нг/м<sup>3</sup>, причем измерения проводились в период останова металлургического цеха ртутного комбината, т. е. влияние последнего практически исключалось. Не исключено, что горящие терриконы углеобогатительных фабрик могут давать еще больший выброс паров ртути в атмосферу, поскольку отличаются повышенными содержаниями ртути в ширитном концентрате. Исследования, выполненные в Амурской области, показали, что в районе отработанных карьеров Райчихинского угольного месторождения наблюдаются повышенные содержания ртути в почвах и донных отложениях водных объектов [80]. Уровни ртути в 2–3 раза и более превышали местный (повышенный) фон, достигающий 0,18 мг/кг). Источником ртути являются угольные карьеры, открытые склады хранения угля, откуда она поступает в составе угольной пыли. В пределах Щурабского бурогоугольного месторождения в почвенном воздухе фиксировались повышенные содержания паров ртути [3].

В более чем 70 отвалах Кизеловского угольного бассейна складировано свыше 35 млн. м<sup>3</sup> вмещающих пород, половины из которых – неперегоревшие [77]. Породы, поступающие в отвал, образовались за счет проходки выработок (52%), их ремонта и восстановления (48%). В литологическом отношении они представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками, углем и другими породами. В них присутствует древесина, металлические предметы [1, 58]. Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб. Они складываются в виде терриконов высотой до 80 м, хребтовидных и плоских отвалов. Площадь зоны влияния отвала в несколько раз превышает площадь самого отвала. Установлено, что отвалы шахт Кизеловского угольного бассейна оказывают влияние на химический состав подземных вод прилегающих территорий, что проявилось в увеличении концентрации некоторых химических компонентов относительно фоновых их значений, характерных для природного состава подземных вод [7].

Основной геохимической особенностью пород отвалов Кизеловского бассейна, определяющей их неустойчивость в условиях земной поверхности, является высокое содержание различных форм серы. Она входит непосредственно в состав углей месторождения, а также представлена в виде сульфидов металлов, преимущественно пирита [55]. Инфильтрация, богатых растворенным кислородом, атмосферных осадков через отвалы угольных шахт приводит к активизации сернокислотного процесса [52]. Снижается рН фильтрующихся вод, в процесс водной миграции вовлекаются сера (сульфаты), железо, алюминий, тяжелые металлы. Взаимодействие породных отвалов с атмосферными осадками приводит к обогащению последних различными веществами, поступление инфильтрационных вод в зону аэрации или в гидрографическую сеть. Дождевые и талые воды, фильтрующиеся через толщу отвалов и стекающие по их поверхности, переносят от отвалов большое количество коллоидных соединений и механических взвесей, среди которых значительную роль играют соединения серы. Кроме серы, основными загрязняющими компонентами являются взвешенные вещества – до 324 мг/л, алюминий – до 1,6 г/л, железо – до 7,2 г/л. В зависимости от релье-

ефа и геолого-гидрогеологических условий участков складирования часть этих вод в период снеготаяния и обильных атмосферных осадков образует поверхностный сток в виде временных водотоков от отвалов, загрязняющих поверхностные воды. Водородный показатель таких временных водотоков чаще всего менее 3. Воды имеют высокую минерализацию (иногда до 45 г/л) и повышенное содержание характерных для сернокислотного процесса микроэлементов. Отвалы угольных шахт влияют на состав донных отложений за счет кислых стоков и размыва пород, особенно при складировании последних по берегам рек. В грубообломочной, песчаной и алевритовой фракциях донных отложений ниже участков складирования содержится значительное количество угольно-породных частиц (до 22%) и других техногенных включений. Образующиеся техногенные осадки в виде взвешенных веществ мигрируют вниз по течению и являются источником вторичного загрязнения рек. Особенно интенсивно смыв происходит в паводковый период. Наблюдающиеся процессы представляют реальную угрозу для качества воды в Камском водохранилище и р. Чусовой, так как в настоящее время загрязнение зафиксировано на приустьевых участках притоков. Донные отложения наиболее загрязнены на участках ниже самонзливов: р. Вильва – ниже г. Гремячинска до устья (далее загрязняются р. Усьва и Чусовая), р. Осьва – ниже г. Губахи до устья, р. Кизел и р. Вильва – ниже г. Кизела до устья (далее загрязняется р. Яйва).

Необходимо особо отметить, что в породах отвалов протекают процессы физического выветривания, окисления, гидролиза, гидратации, метасоматоза. Содержание сульфидной серы в отвалах Кизеловского угольного бассейна 5–50-летнего возраста изменяется от 3,5 до 8%. Характерной реакцией, протекающей в отвалах, является окисление органической серы и пирита в сульфаты. Реакции окисления идут с выделением тепла и сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением минералов, фумарольными процессами. Горение отвалов Кизеловского угольного бассейна продолжается несколько лет [52].

### **Проблема угольных пожаров**

Склонность углей к самовозгоранию непостоянна во времени, степень ее зависит от интенсивности притока кислорода из атмосферы воздуха, затрудненности отдачи тепла в окружающую среду [58]. В старых выработках она постепенно увеличивается в результате раскрытия микротрещин и увеличения реагирующей поверхности угля в результате снятия горного давления. Скрытая стадия развития процесса самовозгорания – от возникновения предпосылок к окислению угля до собственно самовозгорания происходит в течение 2–3 месяцев. Различают эндогенные и экзогенные пожары. Эндогенные пожары на угольных шахтах возникают в результате произвольного самовозгорания угля (его способности самопроизвольно воспламениться в результате низкотемпературного окисления кислородом воздуха), которое происходит вследствие окисления полезных ископаемых кислородом и повышения их температуры. Развиваются такие пожары медленно, постепенно. Химическая активность добываемых пород и геологические особенности их залегания являются природными факторами возникновения эндогенных пожаров. К признакам начинающегося эндогенного пожара относят повышение температуры воздуха, воды и пород, увеличение концентрации вредных газов, рост влажности воздуха [12]. Эти признаки легко обнаруживаются задолго до интенсивной стадии пожара, поэтому тушение его должно начи-

наться, как правило, своевременно, пока он не достиг больших размеров. По величине наносимого ущерба (опасность для жизни, материальные затраты на прогнозирование, предотвращение и ликвидацию последствий) эндогенные пожары лидируют среди прочих аварий на угледобывающих предприятиях. Например, в шахтах Украины ежегодно регистрируется несколько десятков эндогенных пожаров [12]. В среднем они составляют около 30% от общего количества пожаров в шахтах Донецкого бассейна. Характерными местами шахт, в которых возможно возникновение эндогенных пожаров, являются: 1) выработанные пространства действующих очистных забоев (25%); 2) отработанные изолированные участки (30–40%); 3) отработанные неизолированные участки (12–37%); 4) капитальные и подготовительные выработки (30–40 %). Частота возникновения эндогенных пожаров в различных выработках зависит от горно-геологических условий месторождения, объема и качества проводимых профилактических мероприятий

Эндогенные пожары от самовозгорания углей чаще возникают в пластах с повышенной мощностью и при крутом их залегании в связи с увеличением зон обрушения и сдвижения вышележащих пород, что увеличивает доступ воздуха к оставшемуся в забоях углю [58]. Способность к окислению возрастает с уменьшением крупности зерен угля при тектонической раздробленности угольных пластов, повышенной их трещиноватости в зонах выветривания угля. Склонность к самовозгоранию более высока у фюзенизированных разностей угля и при повышенном содержании микрокомпонентов с отчетливо выраженной клеточной структурой. Высокоактивны к самовозгоранию бурые угли, умеренно активны – каменные, малоактивны – антрациты. Возникновение эндогенных пожаров во многом определяется способами подготовки и системами разработки месторождений, режимом и схемами вентиляции и другими горно-техническими факторами. Например, в настоящее время большая часть Бошняковского месторождения (о. Сахалин) охвачена подземными пожарами [83].

Причиной возникновения экзогенных пожаров являются внешние источники тепла – открытый огонь при неосторожном обращении с ним, перегревание электропроводки, взрывные работы и т. п. Экзогенные пожары возникают и распространяются стремительно, особенно при наличии интенсивного проветривания.

Особую опасность представляют пожары, возникающие в отвалах (вскрышных и вмещающих пород, содержащих обломки угля) [9, 94]. Отвал считается горящим, если на нем имеется хотя бы один очаг горения (независимо от его площади) с температурой пород на глубине до 2,5 м более 80°С) [94]. Газы, выбрасываемые в атмосферу горящими отвалами, существенно изменяют почвенный и растительный покров, животный мир, продуктивность лесных и сельскохозяйственных угодий на значительных прилегающих к отвалам территориях. Опыт показывает, что через 7–12 лет после окончания эксплуатации, горящие отвалы переходят в категорию негорящих. Однако фактическое состояние каждого отвала может быть определено и установлено только на основании соответствующих обследований, выполненных специализированными организациями [18]. В результате сложных процессов, протекающих в теле породных отвалов, происходит их самопроизвольное возгорание. Горящие отвалы являются одной из основных проблем угледобывающих районов. Горение отвалов продолжается в течение нескольких лет. Это ведет к загрязнению атмосферы продуктами горения и осадению их на поверхности земли. При сгорании 1 кг породы происходит загрязнение до опасного предела от 6,7 до 8,7 млн. м<sup>3</sup> атмосферного

воздуха. Из горящих отвалов в атмосферу выделяется около двух десятков вредных веществ: оксид углерода, углекислый газ, сернистый газ, серный ангидрид, сероводород, сероуглерод, серооксид углерода, оксиды азота, серная кислота, цианводород, аммиак, цианиды, тиоцианаты и др.

На Украине отвалы (полигоны и терриконы отходов) занимают площадь около 165 тыс. га (около 2,5% территории страны). Отвалы горных пород, которые десятилетиями складировались на шахтных терриконах, выделяют в атмосферу до 70 тыс. т вредных веществ в год [11]. К 2015 г. в разных регионах Украины имелось:

- Донецкий регион – 52 закрытых/закрывающихся шахт, 69 из 177 отвалов горящие;
- Луганский регион, 36 закрытых/закрывающихся шахт, 34 из 244 отвалов горящие;
- Львовско-Волинский регион – восемь закрытых/закрывающихся шахт, два из семи отвалов горящие.

По данным [4] в терриконах Донеска в свое время ежегодно сгорало более 30 тыс. т серы и 150 тыс. т угля.

Есть сведения, что, в Ростовской области имеется 463 террикона, около сотни из них горят, причем около 20 являются активно горящими.

Самовозгорание отвалов обусловлено рядом факторов [9]. Первым фактором является свободный доступ кислорода внутрь тела отвала. Его в свою очередь обуславливают крутые склоны и большое количество межобломочного пространства. Вторым фактором, стимулирующим самовозгорание, является протекание в теле отвалов и терриконов окислительных процессов, в результате которых выделяется тепло, способствующее разогреву пород в отвале. Возгорание происходит в случаях, когда скорость образования тепла при окислении вещества превышает скорость его рассеяния. Источником тепла могут являться взаимодействия между углем и кислородом, процессы увлажнения и высыхания, скрытое тепло водяного пара. Однако, тепло, поступающее при окислении неорганической составляющей углей – пирита, может быть ключевым фактором для достижения количества тепла, необходимого для процесса самовоспламенения. Это хорошо заметно в Подмосковном, Кизеловском и Донецком угольных бассейнах, где в породах содержится большое количество пирита [81].

П.С. Брагина [9] на основе анализа данных зарубежных и отечественных авторов приводит следующие факторы, способствующие процессам возгорания углей в отвалах: 1) Процесс самовоспламенения активизируется в присутствии влаги, в особенности при наличии стадий высыхания и увлажнения, так как усушка угольной матрицы в процессах потери воды увеличивает его порозность. В Кемеровской области, где количество осадков практически повсеместно более 300 мм/год, а в южной части превышает 450 мм/год, а также присутствуют длительные периоды без дождей, как правило, в конце мая – июне, усушка угольной матрицы происходит довольно активно. 2) Скорость окисления угля возрастает с ростом внешней температуры. Особенно это важно в случаях расположения угольных отвалов в теплом климате. Уголь исходно, не склонный к возгораниям, при перемещении его в отвалы в условиях теплового климата, может загораться. Так, на отвалах в южной части Кузбасса температура поверхности на южных склонах в жаркие дни может достигать 41–42°C, что, несомненно, стимулирует активизацию процессов окисления. 3) Теплопроводность угля может влиять на возможность возникновения самовоспламенения, так как он выполняет функцию передачи и аккумуляции тепла, получаемого при окислении. Теплопроводность

обычно бывает выше в случаях высокой концентрации минеральных веществ в составе углей, так как они быстрее рассеивают тепло. Температура горения, если ориентироваться на минералогический состав горевших угольных отвалов (наличие кремнезема, муллита, гематита), может достигать 1300°C.

При горении породных отвалов выделяются токсичные вещества, поступающие в атмосферу: сернистый ангидрид, сероводород, оксиды углерода и серы, метан, ароматические углеводороды (в том числе ПАУ и т. п.), химические элементы (фтор, ртуть, мышьяк, кадмий, свинец, олово, германий и др.) [9, 11, 39, 42].

В процессе взаимодействия породы с окружающей средой и ее самонагревания ускоряется выветривание породообразующих минералов, их разрушение, замещение некоторых элементов и образование новых минералов, таких как лимонит, гетит, гидрогетит и др. Процесс современного минералообразования на породных отвалах можно разделить на следующие этапы [11, 66–68]:

1. Начальный этап. В течение первых месяцев после отсыпания породы под действием атмосферных осадков начинаются процессы химического и биохимического окисления пирита. Происходит выделение сероводорода, прогревание поверхностного слоя горных пород и обогащение его серой.

2. Образование очагов тления. Сформировавшиеся внутри горной массы участки с температурой около 260°C вызывают самовоспламенение паров сероводорода и метана. Происходит увеличение пористости приповерхностного слоя за счет выноса газовыми потоками мелких фракций, смещение фронта горения вглубь скопления пород по мере отсыпания отвала и проникновения внутрь атмосферного воздуха.

3. Псевдофумарольная деятельность. При температурах более 300°C происходит разложение минералов и углефицированного вещества с выделением угарного газа (CO), уголекислоты (CO<sub>2</sub>), азота (N<sub>2</sub>), оксида серы (SO<sub>2</sub>); при T = 480–520°C – образование аммиака (NH<sub>3</sub>); при T = 500–550°C – выделение водорода (H<sub>2</sub>), монооксида углерода (CO) и тяжелых углеводородов; при T = 900–1200°C – образование сероуглерода (CS<sub>2</sub>), углерода оксисульфида (COS), тиофена (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>S).

4. При температуре 800–1200°C породы испытывают термальный метаморфизм: частичное плавление, обжиг и спекание пород в виде брекчиевидных масс. Происходит образование гематита, муллита, шпинели, кристобалита и др. Высокотемпературный парогазовый поток устремляется по трещинам к поверхности. За счет выплывания вмещающих пород он обогащается такими элементами: Mg, Na, Al, Fe, K и др., а также летучими элементами – S, F, Cl, As и др. На поверхности происходит резкое снижение температуры и давления, где, как на геохимическом барьере, образуются нашатырь, самородная сера, реальгар, аммонистая селитра и другие минералы. В результате взаимодействия серной кислоты с карбонатами и силикатами образуются гипс, квасцы, халькантит и др.

Образование на горящих терриконах легкорастворимых азотсодержащих минералов, таких как нашатырь, масканьит, чермнгит, леговицит, а также многочисленных сульфатов приводит к загрязнению поверхностных и подземных вод, почв различными токсичными элементами и их соединениями. Выделяющиеся из глубины отвалов газы, содержащие в своем составе опасные для здоровья элементы и соединения, загрязняют атмосферный воздух. Породы терриконов содержат большое количество различных элементов, в том числе и токсичных, которые в процессе горения либо накапливаются в породах, что необходимо учитывать при использовании их в народном хо-

зайстве, либо высвобождаются и попадают в почвы и воды [11]. В радиусе до 3 км от терриконов установлены ореолы загрязнения почв ртутью, мышьяком, нитратами и другими токсичными элементами [68], вблизи горящих отвалов отмечается увеличение в почвах концентраций стронция, углерода, нитритов, ПАУ [9]. Например, непосредственно в очаге самовозгорания на одном из отвалов в Кемеровской области суммарная концентрация ПАУ в приповерхностном горизонте почв достигала 2400 нг/г, которая, однако, снижалась до 52 нг/г на удалении 40 м, что, тем не менее, выше уровней в фоновых почвах (находятся в пределах 10–20 нг/г). Содержание суммы ПАУ в исходном угле составляет не более 10 нг/г.

Исследования сотрудников УкрГГРИ и других авторов показывают, что процессы химического преобразования и интенсивность горения породных отвалов различны очень неравномерно [11]. Это объясняется, в первую очередь, неравномерным распределением в отвале различных вмещающих пород, углефицированных пород и углей, сульфидной серы и др. химически активных компонентов.

В водных вытяжках из грунтов горящих и перегоревших отвалов Кизеловского угольного бассейна содержание сульфат-иона колеблется от 1,0 до 15 г/л, отмечены повышенные концентрации  $Fe^{2+}$  (до 0,2 г/л),  $Fe^{3+}$  (до 0,5 г/л) и алюминия [52].

### **Радиационная безопасность**

Радиационная безопасность в угольных шахтах связана с естественными радионуклидами, содержащимися в углях и вмещающих породах [74]. Основной вклад в дозу облучения персонала вносят дочерние продукты радона и торона, а также долгоживущие радионуклиды рядов урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде аэрозоля. Самое высокое выделение радона наблюдается в местностях, где горные породы содержат высокие концентрации урана. Миграции радона из почв благоприятствует хрупкая деформация горных пород, вертикальные зоны разломов, пористость пород. Считается, что наибольшую интенсивность миграции радона из пород можно ожидать в условиях, где может присутствовать комбинация следующих геологических факторов: породы, обогащенные ураном; интенсивная хрупкая деформация субвертикальных пород, не содержащих кварца, карбоната или глины; земляной покров, состоящий из гравия или песчаных элювиалей. Радиационная обстановка в шахте зависит главным образом от интенсивности ее проветривания, содержания урана и тория в углях и вмещающих породах и, наконец, от скорости выделения радона и торона в рудничную атмосферу. Так, по данным [40, 86], отвалы угольных шахт Донбасса отличаются повышенной радиоактивностью. В отличие от терриконов Центрального Донбасса в терриконах Восточного Донбасса количество радиоактивных элементов по предварительным данным незначительно [72].

### **Проблема метана и газоносности углей**

Основным компонентом природных газов угольных пластов, не затронутых процессами газового выветривания (деметанизацией), является метан. Его концентрация в смеси природных газов угольных пластов составляет 80–98%. С одной стороны, метан и связанная с ним взрывоопасность в настоящее время является одним из самых опасных явлений, сопутствующих добыче каменного угля. Разработка угольных пластов на шахтах, опасных по

метану, требует применения специальных технических мер, не допускающих превышение безопасной величины концентрации газа в рудничном воздухе. Выделение метана становится одним из основных факторов, повышающих опасность ведения горных работ в угольных шахтах, о чем свидетельствуют взрывы метановоздушных смесей, которые, практически ежегодно происходят на угольных шахтах в разных странах. Газовый фактор становится одним из основных препятствий в достижении высоких нагрузок на очистные забои и темпов проведения подготовительных выработок по газоносным угольным пластам. Кроме того, выделение метана при добыче угля является опасным загрязнением земной атмосферы. С другой стороны, метан является ценным полезным ископаемым, подлежащим самостоятельной промышленной добыче или попутному извлечению в шахтах при комплексной поэтапной эксплуатации газоносных угольных месторождений.

Метан относится в настоящее время к попутным полезным ископаемым только в объеме его каптажа дегазационными скважинами, проходимыми для снижения газоопасности работ при подземной добыче угля в метановой зоне [58]. Основными критериями промышленного значения извлекаемого метана являются: технологическая необходимость предварительной дегазации месторождения (его частей), количество каптируемого метана в соответствии с намеченной схемой дегазации, его качество как энергетического топлива, экономическая эффективность использования.

Прогнозные ресурсы метана в угольных пластах основных наиболее изученных бассейнов России – Кузнецкого, Печорского, Донецкого, Бурейнского, Апсатского, Сахалинского, Партизанского, Южно-Якутского и Зырянского – до глубины 1800 м оцениваются в 17,5 трлн, м<sup>3</sup>, что составляет около 15% мировых ресурсов метана в угольных пластах и около 8 % прогнозных ресурсов традиционного природного газа в России [56]. В пределах этих бассейнов ресурсы метана в угольных пластах шахтных полей составляют 829 млрд, м<sup>3</sup> (4,7% ресурсов метана в угольных пластах этих бассейнов), а в угольных пластах разведываемых, перспективных для разведки участков и поисково-оценочных площадей – 15531,1 млрд, м<sup>3</sup> (95,3%). На глубине до 1200 м ресурсы метана составляют 9869 млрд, м<sup>3</sup> (60,6%), а от 1200 до 1800 м – 6434 млрд, м<sup>3</sup> (39,4%).

Масштабы ресурсов метана в угольных пластах дают основание рассматривать их как мощные залежи сорбированного газа, а угольные бассейны не только как угольную базу топливно-энергетического комплекса, но и как гигантский дополнительный источник углеводородного сырья [56]. Кузбасс – крупнейший метанугольный бассейн мира, наиболее перспективный регион России для крупномасштабной промышленной добычи метана из угольных пластов. Печорский бассейн может покрыть потребности в газе Воркутского углепромышленного района. Газоносные угольные месторождения Сибири, Дальнего Востока и о. Сахалин – перспективные объекты местного газодобывающего комплекса. Новый подход к оценке метана как самостоятельного полезного ископаемого, залегающего совместно с углем, открывает новые возможности комплексного освоения газоносных угольных (метанугольных) месторождений с широкомасштабной промышленной добычей метана. Для этого необходимо создание новой отрасли топливно-энергетической промышленности – «Углегазпрома», что даст возможность помимо угля получать и использовать метан – наиболее доступный резерв среди других, ныне еще нетрадиционных источников горючих газов.

В Донецкой области сверхкатегорийными по газовому фактору являются 90% шахт [32]. Треть из них разрабатывают пласты, опасные в отношении внезапных выбросов угля и газа или склонные к самовозгоранию. Угли Юго-Западного Донбасса относятся к упруго-вязким, слонстопористым телам, свойства которых изменяются при метаморфизме и горно-геологических процессах. Наибольшие изменения молекулярная и надмолекулярная структура углей претерпевает на средних стадиях метаморфизма. Количество, форма и размер микропор в углях находятся во взаимосвязи со степенью метаморфизма и петрографическим составом угля. Газоносность углей закономерно изменяется от 4–10 до 38–40 м<sup>3</sup>/т с.б.м (м<sup>3</sup> на тонну сухой беззольной массы) в зависимости от степени метаморфизма и глубины залегания угольных пластов. Главным компонентом газов угольных месторождений и шахт является метан, содержание которого в газовой фракции угольных пластов составляет от 70 до 99 % за пределами (глубже) зоны метанового выветривания. Более тяжелые углеороды в составе угольных газов отмечаются от следов до 15 %, азот — от 1–5 до 25–30 %, углекислый газ в основном — 1,5–2,0 % и редкие газы — 0,001–0,1 % [38, 64].

Метан в углях находится, главным образом, в абсорбированной и адсорбированной форме с содержанием свободного метана от 5–7 до 10–13%. С глубиной количество свободного метана в углях увеличивается и может достигать 17–22% в слабометаморфизованном угле [32]. Адсорбированный метан находится в приповерхностном слое трещин, макро- и микропор и каверн. Именно свободный и адсорбированный метан является наиболее перспективным для дегазации и целевого извлечения. На долю упорного, молекулярно-связанного с молекулами угля абсорбированного метана, по нашим данным, приходится от 38 до 56–60% природной газоносности в зависимости от стадии метаморфизма углей. Данная форма системы «уголь-метан» может выделять газ только при условии разрушения угля на фракцию менее 5 мм (уменьшение газа на 90–92% от природной газоносности при условии разрушения угля до фракции 3–5 мм). Безусловно, добыча метана в Донецкой области и Донбассе в целом должна рассматриваться не только как извлечение сопутствующего сырья, а как равноправная добыча, равнозначная с добычей угля, или как полноценное самостоятельное производство газометанового энергетического сырья.

Технология извлечения и использования метана из пустот закрытой шахты «Монт-Ценис» земли Северный Рейн-Вестфалия с устройством локальной ТЭЦ является типичной (рис. 10). Производительность такой установки по извлечению метана через шахтный ствол достигает 2000 м<sup>3</sup>/ч при среднем содержании метана 60–70 %. Такая ТЭЦ вырабатывает около 9,5 ГВт·ч электроэнергии и 14,5 ГВт·ч тепловой энергии в год. В другом случае, на шахте «Министр Ахенбах» установка оборудована тремя газовыми двигателями мощностью 1,35 МВт каждого.

В России в конце 2011 г. метан угольных пластов был признан самостоятельным полезным ископаемым и внесен в общероссийский классификатор.

По мнению [73], в России существуют объективные условия перспективности развития технологий и добычи метана угольных пластов: 1) хорошие геологические условия газоносности угольных бассейнов в России являются объективной предпосылкой организации широкомасштабной добычи метана как самостоятельного полезного ископаемого в ключевых угольных бассейнах; 2) стартовой площадкой могут стать метанугольные промыслы Кузбасса, как наиболее развитого региона с рядом уже действующих пилотных проектов и богатой ресурсной базой.

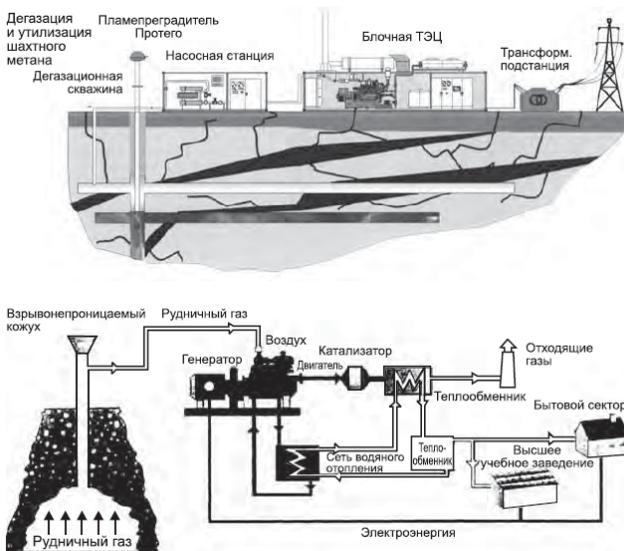


Рисунок 10. Дегазация и утилизация шахтного метана на закрытой шахте «Монт-Ценис» [15].

## Заключение

Разработка угольных месторождений осуществляется подземным и открытым способами в зависимости от глубины залегания угольных тел. Подземный способ наиболее трудоемкий и дорогой. В общем случае отработка угольных месторождений связана с извлечением и перемещением в отвалы больших масс вскрышных и вмещающих пород, откачкой шахтных, карьерных и дренажных вод, эксплуатацией их накопителей, шламохранилищ углеобогащительных фабрик, сопровождается физическим и химическим загрязнением атмосферного воздуха, почв, грунтовых и подземных вод, поверхностных водных объектов.

В углях количественно установлено более 50 редких элементов и цветных металлов, входящих в состав как органической, так и минеральной части топлива. Известны угли с повышенными (и даже высокими) содержаниями ртути, мышьяка, сурьмы, селена, кадмия и ряда других токсичных элементов. В состав органической массы углей входят полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), которые являются очень стойкими поллютантами. Потенциально все эти вещества при разработке угольных месторождений и обогащении углей могут поступать в окружающую среду (в составе выбросов, стоков, отходов, при использовании конечной продукции).

Добыча угля открытым способом сопровождается механическим перемещением породных масс, вскрытием подземных водоносных горизонтов. Основными видами инженерно-геологических нарушений являются деформации в бортах и откосах карьеров, усиление геодинамических процессов, формирование техногенного рельефа. При подземном способе добычи от-

рицательные изменения связаны со сдвижением и деформацией горных пород и земной поверхности, образованием в перекрывающей толще пород водопроницаемых трещин, на земной поверхности – провалов, прогибов, затопленных и заболоченных участков, изменением водно-солевой баланс пород зоны аэрации. Во обоих случаях происходит формирование обширных депрессионных воронок со значительными понижениями уровней подземных вод, образование сточных вод, загрязненных взвешенными веществами, растворенными солями, тяжелыми металлами. Значительные объемы горных пород, извлекаемых в ходе добычи угля, большие площади сельскохозяйственных земель, вовлекаемые в горное производство, а также комплексное воздействие, оказываемое на все элементы ландшафта, создают условия для формирования особых техногенно-трансформированных природных территориальных комплексов.

Добыча открытым способом каждой тысячи тонн угля требует размещения 3,6 тыс. м<sup>3</sup> вскрышных пород. На каждую 1000 т/год производительности угольных карьеров изымается 1000–1500 м<sup>2</sup>/год земельных угодий. Подземная добыча 1 т угля сопровождается выдачей на поверхность 0,1–0,35 т шахтной породы и от 1,5 до 10 т вскрышной породы, при обогащении 1 т угля образуется 0,23 т хвостов обогащения. Карьеры отдельных угольных месторождений занимают площадь до 2 км<sup>2</sup>. Большие площади отводятся под шламонакопители углеобогачительных фабрик. Наиболее мощные из них имеют шламоохранилища площадью до 8 км<sup>2</sup>. Максимальные глубины шахт уже превышают 1400 м, в угольные шахты и разрезы Кузбасса подается 360 млн. м<sup>3</sup> воздуха в год и откачивается более 200 млн. т воды, из разрезов перемещается в отвалы 300–350 млн. т горных пород. Ежегодно отторгается около 1,5 тыс. га территорий, а площадь нарушенных земель увеличивается на 65,5 тыс. га. В настоящее время в отвалах горнодобывающих предприятий, расположенных на территории России, накопилось не менее 12 млрд. т вскрышных и вмещающих пород.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха на угольных предприятиях являются технологические процессы горного производства (бурозрывные работы, экскавация, погрузка и транспортирование горной массы, внутреннее и внешнее отвалообразование и пыление отвалов, энергетические и сушильные установки, аспирационные системы, открытые угольные склады, горящие породные отвалы, работа двигателей внутреннего сгорания горной техники и др.). В атмосферу поступают угольная и породная пыль, сажа, оксиды серы, азота и углерода, сероводорода, углеводороды, в том числе бенз(а)пирен, формальдегид, керосин, свинец, хром, оксид железа и другие вредные вещества. При массовых взрывах в карьерах образуется пылегазовое облако объемом до 15–20 млн. м<sup>3</sup>, высотой до 1500–1600 м, из которого в течение нескольких в радиусе 3–4 км рассеивается 200–500 т мелкодисперсной пыли, концентрация которой в карьере составляет 0,134–0,216 кг/м<sup>3</sup>. Пылевое загрязнение (в том числе угольной пылью) распространяется на достаточно значительные расстояния. Шахтная пыль нередко обогащена некоторыми металлами и другими химическими веществами. Разработка угольных месторождений сопровождается поступлением в атмосферу опасных газов, встречающихся в угольных пластах – метана, монооксида углерода, сероводорода, «мертвого» воздуха, а также побочных продуктов взрывных работ и выхлопов дизельных двигателей. В целом загрязнение воздуха в зоне влияния угольного предприятия оценивается как довольно высокое.

В почвах в пределах промышленных территорий и зон влияния угольного производства отмечаются повышенные концентрации ПАУ и некоторых

химических элементов (ртути, хрома, меди, цинка, мышьяка, кобальта, сурьмы и др.). Изменяются также физико-химические и агрохимические характеристики и показатели почв (реакция почвенного раствора, окислительно-восстановительное состояние почв, увеличивается содержание обменного кальция и азота и др.).

Техногенная геохимическая трансформация ландшафтов в угленосных бассейнах выражается в комплексном лито-, гидро-, био- и атмогеохимическом влиянии на природную среду угленосных пород, шахтных вод и атмосферной пыли. Особенно важную роль играют процессы окисления сульфидов железа и других металлов, содержащихся в углесодержащих отвалах. В результате резко увеличиваются минерализация и содержание сульфатов почвах, рН почв снижается до 2–3, меняются условия миграции химических элементов, многие переходят из слаборастворимых сульфидов в оксидные и водорастворимые сульфатные формы. В лесной зоне на месте дерново-подзолистых почв формируются сернокислые железистые солончаки. В техногенных угленосных наносах и почвах содержание сульфатной серы достигает 60–70%, а свободной серы 10–20% от валового количества. Поэтому в ландшафтах происходит не только концентрация многих типоморфных элементов углей, но и их сернокислое выщелачивание, приводящее к формированию «оторванных» гидрогеохимических аномалий на щелочных и сорбционных геохимических барьерах, в гидроморфных почвах и донных отложениях водотоков, иногда на значительном удалении от шахтного комплекса. В аутоморфных таежных почвах со временем происходит уменьшение кислотности, содержания сернистых соединений и тяжелых металлов, но полностью фоновые параметры не восстанавливаются даже через десятилетия. Поступая в гидроморфные почвы, сульфаты и поливалентные тяжелые металлы восстанавливаются, образуются аномалии на латеральных сульфидных барьерах В<sub>1</sub>–В<sub>2</sub>. В этих условиях аномалии существуют длительное время и являются потенциальными вторичными источниками загрязнения.

Добыча угля любым способом сопровождается образованием больших объемов сточных вод (шахтных, карьерных, дренажных, поверхностного стока и др.). Эти воды отличаются очень высокой минерализацией (от 500 до 100000 мг/л) и соответственно экстремально высокими уровнями главных ионов (особенно хлоридов, сульфатов, магния), мутность их достигает нескольких тысяч мг/л, нередко они кислые и обогащены кадмием, хромом, медью, ртутью, никелем, цинком и другими элементами. В водах присутствуют высокие концентрации нефтепродуктов. Карьерные и дренажные воды обогащены соединениями азота и другими производными взрывчатых веществ. Шахтные воды характеризуются очень высокими содержаниями железа, меди, марганца, алюминия и стронция.

Формирование загрязненных подземных вод в пределах территории угольных разработок происходит на фоне региональных изменений уровня режима водоносных горизонтов и комплексов, приуроченных как к продуктивной толще, так и залегающим выше пустым породам. В районе шахтных полей формируются депрессионные воронки площадью 100–3500 км<sup>2</sup>. При отработке угольных месторождений открытым способом техногенное влияние на уровеньный режим подземных вод усиливается вплоть до полного дренирования отдельных водоносных горизонтов. Грунтовые воды таких районов отличаются повышенными уровнями железа, сульфатов, алюминия, марганца, углеводородов, очень высокой минерализацией и повышенной жесткостью.

При закрытии и ликвидации шахт на них происходит самоизлив шахтных вод на земную поверхность, величина которого из затопленных шахт составляет от 20 до 80% от объема шахтных вод во время эксплуатации. На территории шахтных полей в результате затопления шахт образуются техногенные водоносные горизонты шахтных вод повышенными концентрациями сульфатов, натрия, железа, цинка, марганца, меди, аммонийного азота, магния, хрома шестивалентного, бора, фенолов и нефтепродуктов. Воды самоизлива характеризуются высокой минерализацией, высокими концентрациями железа, алюминия, некоторых тяжелых металлов. Поступая в поверхностные водотоки такие воды коренным образом меняют их химических состав и гидрохимический режим. На загрязняемых участках рек ежесуточно формируется около 80 т техногенных донных осадков, представленных аморфными гидроксидами железа и алюминия, с высоким содержанием Mn, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd и др.

Отходы угледобычи по источнику образования подразделяются на шахтные и вскрышные породы, свежедобытые или складированные в отвалах и терриконах. При подземном способе разработки угля породы, извлекаемые из горно-капитальных и горно-подготовительных выработок, так же как и неотрабатываемые селективно в качестве попутных полезных ископаемых породы вскрыши, формируют складированные на поверхности терриконы (отвалы). Наибольший вред природному ландшафту наносится отсыпкой конических и хребтовых отвалов, высота которых в отдельных случаях достигает 110–120 м. Например, в Кемеровской области отвалы угольных предприятий занимают почти 40 тыс. га, что составляет 0,4% ее площади. В Донбассе за 200 лет добычи угля образовалось более 1500 терриконов угольных шахт. Их высота достигает 100 м, углы откосов 45°, занимаемая площадь – десятки гектаров. Они пылят, горят, подвергаются размыву, являются источниками радиоактивности, под их отсыпку отводятся плодородные земли. Породы отвалов отличаются (от земной коры) повышенными концентрациями ртути, хрома, олова, цинка.

Территории, занимаемые отвалами, лишены плодородного почвенного слоя; иногда породы шахтных отвалов содержат пирит, подвижные формы железа, алюминия, характеризуются низкими значениями pH, высокой гидrolитической кислотностью, что обуславливает их фитотоксичность. Вскрышные породы (в Кузбассе) отличаются высокими уровнями ртути и сурьмы, повышенными – хрома, цинка, марганца, молибдена и мышьяка. Вмещающие породы – высокими содержаниями ртути, сурьмы, молибдена, повышенными – кадмия, мышьяка. Указанные породы в целом характеризуются довольно высокими относительными содержаниями подвижных форм многих химических элементов, а удельные концентрации этих форм достаточно стабильно превышают уровень существующих ПДК в почвах, что особенно ярко проявляется для максимальных содержаний металлов. Это свидетельствует о потенциальной подвижности многих элементов, содержащихся в отходах, и их способности активно включаться в геохимическую миграцию. Для ряда химических элементов удельные концентрации (главным образом, максимальные) их водорастворимых форм превышают ПДК для рыбохозяйственных водных объектов.

Дождевые и талые воды, фильтрующиеся через толщу отвалов и стекающие по их поверхности, переносят от отвалов большое количество коллоидных соединений и механических взвесей, среди которых значительную роль играют соединения серы, взвешенные вещества, алюминий, железо. Воды имеют высокую минерализацию (иногда до 45 г/л), повышенное содер-

жание характерных для сернокислотного процесса микроэлементов и являются серьезными источниками загрязнения грунтовых и поверхностных вод.

Особую опасность представляют угольные пожары, которые разделяются на эндогенные и экзогенные. Эндогенные пожары на угольных шахтах возникают в результате произвольного самовозгорания угля (его способности самопроизвольно воспламениться в результате низкотемпературного окисления кислородом воздуха), которое происходит вследствие окисления полезных ископаемых кислородом и повышения их температуры. Причиной возникновения экзогенных пожаров являются внешние источники тепла – открытый огонь при неосторожном обращении с ним, перегревание электропроводки, взрывные работы и т. п. Экзогенные пожары возникают и распространяются стремительно, особенно при наличии интенсивного проветривания. Особую опасность представляют пожары, возникающие в отвалах (вскрышных и вмещающих пород, содержащих обломки угля). При горении породных отвалов выделяются сернистый ангидрид, сероводород, оксиды углерода и серы, метан, ароматические углеводороды (в том числе ПАУ и т. п.), химические элементы (фтор, ртуть, мышьяк, кадмий, свинец, олово, германий и др.).

Радиационная безопасность в угольных шахтах связана с естественными радонуклидами, содержащимися в углях и вмещающих породах. Основной вклад в дозу облучения персонала вносят дочерние продукты радона и торона, а также долгоживущие радионуклиды рядов урана и тория, присутствующие в шахтной атмосфере в виде аэрозоля. Самое высокое выделение радона наблюдается в местностях, где горные породы содержат высокие концентрации урана.

Метан и связанная с ним взрывоопасность в настоящее время является одним из самых опасных явлений, сопутствующих добыче каменного угля. Разработка угольных пластов на шахтах, опасных по метану, требует применения специальных технических мер, не допускающих превышение безопасной величины концентрации газа в рудничном воздухе. Выделение метана становится одним из основных факторов, повышающих опасность ведения горных работ в угольных шахтах, о чем свидетельствуют взрывы метановоздушных смесей, которые, практически ежегодно происходят на угольных шахтах в разных странах. Газовый фактор становится одним из основных препятствий в достижении высоких нагрузок на очистные забои и темпов проведения подготовительных выработок по газоносным угольным пластам. Выделение метана при добыче угля является опасным загрязнением земной атмосферы, а также ценным полезным ископаемым, подлежащим самостоятельной промышленной добыче или попутному извлечению в шахтах при комплексной поэтапной эксплуатации газоносных угольных месторождений.

## Литература

1. Айруни А.А. Охрана окружающей среды при подземной добыче угля. – М.: ЦНИЭИуголь, 1979. – 48 с.
2. Алистратов С.В. Загрязнение почв ртутью в Подмосковном угольном бассейне // Теория и практика геохимических поисков в современных условиях: Тез. докл. к IV Всес. сов. (Ужгород, 10–12 октября, 1988). – М.: ИМГРЭ, с. 10.
3. Базаров В.Н., Фурсов В.З. Опыт применения газортутной съемки на Щурабском бурогольном месторождении // Новые области применения геохимических методов. – М.: ИМГРЭ, 1981, с. 87–91.

4. *Бакланов В.П.* Растительные условия терриконов Донбасса // Интродукция растений и зеленое строительство в Донбассе. – Киев: Наукова думка, 1970, с. 15–25.

5. *Бакланов А.М., Валиулин С.В., Дубцов С.Н. и др.* Наноаэрозольная фракция в техногенной угольной пыли и ее влияние на взрывоопасность пылеметановоздушных смесей // Доклады Академии наук, 2015, т. 461, № 3, с. 295–299.

6. *Баньковская В.М.* Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования для прогнозной оценки изменения геологической среды под влиянием угольной промышленности // Влияние добычи полезных ископаемых на окружающую среду. Часть 2. – М.: ЦМП ГКНТ, 1989, с. 12–26.

7. *Баньковская В.М., Сухоплюева Т.М.* Влияние породных отвалов на загрязненность подземных вод // Повышение эффективности природоохранных работ в угольной промышленности. Мат-лы научн.-техн. конф. – Пермь: ВНИИОСуголь, 1987, с. 38.

8. *Блинов С.М., Старцев С.Е., Харун А.П.* К оценке влияния последствий угледобычи на биологическое и ландшафтное разнообразие территории Кизеловского бассейна // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: Тезисы докл. междунар. науч. конф. – Пермь, 2005, с. 155–156.

9. *Брагина П.С.* Самовозгорание угольных отвалов в Кемеровской области // Вестник Кузбасской государственной педагогической академии, 2013, № 4 (29), с. 57–64.

10. *Бубилова К.Д.* Эколого-экономические проблемы ликвидации угольных предприятий // Уголь, 2001, № 2, с. 65–72.

11. *Васильева И.В.* Актуальные вопросы мониторинга породных отвалов угольных шахт и охраны окружающей среды // Мінеральні ресурси України, 2015, № 3, с. 39–45.

12. *Васильева И.В.* Геологические факторы влияния на возникновение эндогенных пожаров в угольных шахтах // Збірник наукових праць УкрДІРІ, 2016, № 4, с. 64–69.

13. *Ващенко В.П., Носач А.К., Яворович В.В.* Пыль угольных шахт // Вести Донецкого горного института, 2011, вып. 11, с. 35–44.

14. *Владимиров А.М., Аяхин Ю.П., Матвеев А.Т., Орлов В.Г.* Охрана окружающей среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 424 с.

15. *Воробьев Б.М.* Уголь мира. Т. 3. Уголь Евразии– М.: Издательство «Горная книга», 2013. – 752 с.

16. *Воробьев А.Е., Побыванец В.С., Чекушина Е.В. и др.* Оценка воздействия угольной шахты на окружающую среду // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования, 2011, № 4, с. 75–79.

17. *Воронкова А.С.* Содержание Zn, Cd, Pb в почвах, нарушенных деятельностью угледобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006, № 12, с. 239–247.

18. *Гавриленко Ю.Г., Ермаков В.Н., Кренида Ю.Ф. и др.* Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины // Влияние породных отвалов угольных шахт на окружающую природную среду. – Донецк, 2004, с. 447–450.

19. *Гамов М.П.* Факторы классификации элементов-примесей в углях Восточного Донбасса // Разведка и охрана недр, 2010, № 12, с. 41–45.

20. *Гецен М.В., Логинов А.К., Рубцов А.П. и др.* Природная среда тундры в условиях открытой разработки угля. – Сыктывкар: Респ. экол. центр по изучению и охране восточноевроп. тундр, 2005. – 245 с.

21. *Говорушко С.М.* Экологические проблемы добычи, транспортировки и переработки ископаемого топлива. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – 208 с.
22. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160 с.
23. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов российской Федерации в 2015 году». – М., 2016. – 341 с.
24. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 382 с.
25. *Дедова Ю.С., Станис Е.В.* Загрязнение атмосферы при подземной добыче угля на примере шахты «Подмосковная» // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: Тезисы докл. междунар. науч. конф. – Пермь, 2005, с. 168–169.
26. *Диколенко Е.Я.* Экологические проблемы угольной отрасли и пути их решения // Уголь, 2003, № 1, с. 25–27.
27. *Добрянский Л.А., Артеменко В.М., Морозов В.П.* Ртуть в окружающей среде некоторых городов Украины. – Киев: ИГН АН Украины, 1992. – 44 с.
28. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2013 году» – Кемерово, 2014. – 584 с.
29. Доклад о состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области в 2015 году. – Кемерово, 2016. – 439 с.
30. *Долгина Л.Ф.* Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки. Справочное пособие. – Днепропетровск: Молодежная экологическая Лига Приднепровья, 2000. – 61 с.
31. *Дюпин А.Ю.* Угольная промышленность Кузбасса и ее перспективы // Уголь, 2005, № 4, с. 9–13.
32. *Жикаляк Н.В.* Состояние и перспективы извлечения угольного метана в Донецкой области // Разведка и охрана недр, 2012, № 6, с. 44–50.
33. *Жукова И.А., Лобунец В.С.* Экологические последствия реструктуризации угольной промышленности Ростовской области // Journal of Economic Regulation (Вопросы регулирования экономики), 2016, т. 7, № 4, с. 87–94.
34. *Журавлева Н.В.* Обоснование, разработка и развитие методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды: Автореферат дис. ... доктора техн. наук. – М., 2017. – 40 с.
35. *Журавлева Н.В.* Обоснование, разработка и развитие методов оценки влияния добычи и переработки углей Кузнецкого угольного бассейна на экологическое состояние природной среды: Диссертация. ... доктора техн. наук. – Кемерово, 2017. – 343 с.
36. *Журавлева Н.В., Иванькина О.В., Исмагилов З.Р., Потоккина Р.Р.* Содержание токсичных элементов во вскрышных и вмещающих породах угольных месторождений Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2015, № 3, с. 186–197.
37. *Журавлева Н.В., Потоккина Р.Р., Исмагилов З.Р., Кудинев Е.В.* Состав газа угольных пластов Талдинского месторождения // Химия твердого топлива, 2015, № 2, с. 3–9.
38. *Забигайло В.Е., Широков А.З.* Проблемы геологии газов угольных месторождений. – Киев: Наукова думка, 1972. – 172 с.
39. *Зборщик М.П., Осокин В.В.* Предотвращение самовозгорания горных пород. – Киев: Техника, 1990. – 176 с.
40. *Зубов А.А.* Терриконы – объекты техногенной опасности // Экологічна безпека, 2009, № 4, с. 89–92.

41. *Иванов В.В. и др.* Экологические аспекты разработки угольных месторождений Южной Якутии // Мат-лы II респуб. научн.-практ. конф., г. Нерюнгри, 19–21 октября 2005 г. – Якутск, 2005, с. 255–260.
42. *Каложный Д.Н., Давыдов С.А., Дукарская Л.Г., Аксельрод М.Б.* Загрязнение атмосферного воздуха сернистым газом от шахтных терриконов // Гигиена и санитария, 1950, № 5, с. 19–24.
43. *Коробкова А.А.* Оценка воздействия горнодобывающих предприятий на атмосферу при добыче минерального сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013, с. 332–339.
44. *Косинский В.А., Корнилов Ю.Н., Поляковская Е.П., Черников А.Б.* Минеральное сырье. Уголь. Справочник. – М.: Геонинформмарк, 1997. – 63 с.
45. *Кратчин П.П., Кушинов Ю.С.* Уголь сегодня, завтра (технология, экология, экономика). – М.: Издательский дом «Новый век», Институт макроэкономки, 2001. – 216 с.
46. *Красавин А.П., Сафин Р.Т.* Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского угольного бассейна в связи с закрытием шахт. – Пермь: ИПК «Звезда», 2005. – 287с.
47. *Красавин А.П., Хорошавин А.Н., Катаева П.В., Оборин Г.А.* К вопросу о снижении токсичных свойств пород отвалов угольных шахт // Растения и промышленная среда. Сб. 7. – Свердловск, 1980, с. 111–115.
48. *Крунская А.Т., Зверева В.П., Дербенцева А.М.* Экологические проблемы освоения месторождений угля на юге Дальнего Востока и современные подходы к их решению // Форум гірників – 2012: матеріали Міжнар. конф., 3–6 жовтня 2012 р. Т. 1. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012, с. 183–189.
49. *Максимович Н.Г.* Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. ун-та, 1997, вып. 4. Геология, с. 171–186.
50. *Максимович Н.Г.* Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна // Инженерная геология, 2011, № 3, с. 46–51.
51. *Максимович Н.Г., Горбунова К.А.* Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Известия ВУЗ. Геология и разведка, 1991, № 5, с. 137–140.
52. *Максимович Н.Г., Черемных Н.В., Хайрулина Е.А.* Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник, 2006, № 2, с. 128–134.
53. *Манаков Ю.А.* Нарушенные земли Кузбасса. Путь решения проблемы – фонд рекультивации. // Промышленная экология, 2008, № 4, с. 29–34.
54. *Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов.* – М.: Наука, 1987. – 239 с.
55. *Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения.* – М.: Наука, 1988. – 256 с.
56. *Минерально-сырьевая база угольной промышленности России. В 2-х томах. Том 1 (состояние, динамика, развитие).* – М.: Изд-во Московск. гос. горн. ун-та, 1999. – 648 с.
57. *Миронов К.В.* Угли ископаемые // Горная энциклопедия: Т. 5. – М.: Сов. энциклопедия, 1991, с. 227–229.
58. *Миронов К.В.* Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
59. *Мишина В.В.* Проблемы открытой добычи угля и пути их решения в г. Нерюнгри // // Научный электронный архив, <http://econf.rae.ru/article/5727>.

60. Назаркина А.В., Крупская А.Т., Арефьева О.А. и др. Техногенная трансформация свойств почв угольных и горнопромышленных комплексов. – Владивосток: Изд. дом Дальневос. фед. ун-т, 2012. – 144 с.

61. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Утв. Приказом Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18.01.2010 г. – 214 с.

62. Озерский А.Ю., Удин К.В., Ладынин А.А. Эколого-геохимическая оценка влияния пылевых выбросов разреза Назаровский на г. Назарово // Тез. докл. IX Всесоюз. геол. угольного совещания. Ч. 2. – Ростов-на-Дону, 1991, с. 152–155.

63. Охрана труда при разработке угольных месторождений подземным способом. – Женева: Международное бюро труда, 2008. – I–XIV; 271 с.

64. Павлов С.Д. Пути освоения природных газов угольных месторождений. – Харьков: Изд-во Колорит, 2005. – 336 с.

65. Павлов Н.В., Пинигин Д.А. Особенности освоения и техногенное воздействие Эльгинского угольного комплекса на природную среду // Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. Сб. тр. Всерос. конф., Иркутск, 01–03 сентября 2015 г. – Иркутск, 2015, с. 511–515.

66. Павлов Б.С., Прокурня Ю.А. О техногенной минерализации породных отвалов угольных шахт Донбасса // Межвуз. научн. тематич. сб. «Геология угольных месторождений». – Екатеринбург, 1999, с. 241–240.

67. Павлов Б.С., Прокурня Ю.А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // Геология угольных месторождений (Межвузовский научный тематический сборник). – Екатеринбург, 2002, с. 274 – 281.

68. Павлов Б.С., Шевченко О.А., Прокурня Ю.А. и др. К геоэкологии Донбасса // Проблемы экологии. – Донецк: ДонГТУ, 1999, № 1, с. 17–26.

69. Папкевич М.А., Паршина М.В. Анализ экологической опасности объектов угольной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007, № 10, с. 305–312.

70. Певзнер М.Е., Костовецкий В.П. Экология горного производства. – М.: Недра, 1990. – 235 с.

71. Попова Д.С. Добыча угля как основной фактор загрязнения окружающей среды // Научный форум. Сибирь, 2015, выпуск 1, с. 83–84.

72. Привалов А.А., Карпенко Т.В. Экологические проблемы терриконов решаются за счет инвестиций в добычу редкоземельных минералов // Механизмы и инструменты модернизации экономики периферийных территорий: материалы II Междунар. науч.-практ. интернет-конф. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2015, с. 190–195.

73. Приклонский О.А., Кочнева О.Е. Метан угольных пластов. Особенности разработки и перспективы добычи на территории России // MASTER'S JOURNAL, 2014, № 1, с. 195 – 202.

74. Роголис В.С., Шилов А.А., Гуриянова О.Н. Радиационная безопасность в угольных шахтах не миф, а реальность // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2010, № 8, с. 213–218.

75. Розуван Т.А. Об экологических последствиях добычи угля в Украине // [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/22492/1/Rozuvan\\_Ob\\_ekologicheskikh\\_2016.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/22492/1/Rozuvan_Ob_ekologicheskikh_2016.pdf).

76. Рылжиков А.В., Лозовик П.А., Куринная А.А. Биохимическая трансформация некоторых азотсодержащих органических соединений в природной воде // Экологическая химия, 2002, № 11(4), с. 237–240.

77. Сафин Р.Т. Экологические проблемы реструктуризации Кизеловского угольного бассейна // Экологические проблемы и здоровье населения Верхнекамья: мат-лы научно-практической конференции. – Пермь, 2002, с. 42–52.

78. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора. – Кемерово, Новокузнецк: ИнЭКА, 2017. – 254 с.

79. Сенкус В.В. Экологические проблемы горнодобывающих предприятий в Кузбассе // ЭКО-бюллетень ИнЭКА, 2002, т. 73, № 2, с. 73–78.

80. Сидоров Ю.Ф., Левшаков А.М., Пейзель А.М. Угольная электростанция – источник ртутного загрязнения окружающей среды // Тр. Междунар. экологического конгресса «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». С. – Петербург, 14–16 июня, 2000. Т. 1. – СПб: Изд-во БалтГТУ «Военмех», 2000, с. 49–50.

81. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Влияние угледобычи на геохимию ландшафтов (на примере Подмосковского и Кизеловского бассейнов). // Доклады всесоюзной научной конференции «Охрана геологической среды от отрицательного воздействия предприятий горнодобывающего профиля». – М.: Изд-во МГУ, 1984, с. 54–59.

82. Сухоченков А.С. Влияние предприятий угольной промышленности на состояние атмосферного воздуха // Экология производства, 2005, № 9 // www.ecoindustry.ru.

83. Тарасенко И.А. Геохимические особенности состава и закономерности формирования подземных вод в природно-техногенных гидрогеологических структурах районов ликвидированных угольных шахт: Диссертация ... доктора геол.-мин. наук. – Владивосток, 2014. – 327 с.

84. Тютюнова Ф.П. Гидрогеохимия техногенеза. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

85. Усманова Т.В., Таловская А.В., Монголина Т.А., Павлов П.П. Оценка вклада угольных шахт в трансформацию состава природных сред (на примере шахты «Хакасская») // Вестник науки Сибири. Серия: Науки о Земле, 2012, № 4, с. 4 – 16.

86. Уханьова М.І., Хоботова Е.Б. Дослідження радіаційно-хімічних властивостей відвальних горілих порід // Мат-лы конф. «Сучасні проблеми екології та геотехнологій». – Житомир, 2009, с. 38–39.

87. Федотова А.С. Содержание тяжелых металлов в отвалах, образованных вскрышными породами на угольных разрезах // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2006, № 1, с. 200–205.

88. Харитонов Ю.Ф., Васильев В.Г., Андрейчук Д.А. и др. Эколого-экономическая оценка отходов горнопромышленного комплекса Читинской области // Ресурсы Забайкалья. Спец. выпуск, 2002, с. 42–47.

89. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. – М.: Недра, 1996. – 238 с.

90. Шарфова А.В. Окислительно-восстановительное состояние почв Среднерусской лесостепи в зоне влияния терриконов угольных шахт: Автореферат дисс. ... канд. географ. наук. – М., 2013. – 24 с.

91. Шпирт М.Я., Артемьев В.Б., Силотин С.А. Использование твердых отходов добычи и переработки углей. Т. 5. Переработка и обогащение минерального сырья. Кн. 3. – М.: Издательство «Горное дело», ООО «Киммерийский центр», 2013. – 432 с.

92. Шпирт М.Я., Клеф В.Р., Перфилов П.З. Неорганические компоненты твердых топлив. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

93. Шнифт М.Я., Раишевский В.В. Микроэлементы горючих ископаемых. – М.: Кучково поле, 2010. – 384 с.
94. Щербо А.С. Локализация и тушение очагов горения угольных отвалов с использованием отходов цементного производства // [http://sovnet-nprz.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article\(cherbo\).pdf](http://sovnet-nprz.ru/articles/konkurs2/nominatsia4/article(cherbo).pdf).
95. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2006. – 539 с.
96. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 656 с.
97. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ртуть в углях. – Сыктывкар: ИГ Коми научный центр УрО РАН, 2007. – 96 с.
98. Янин Е.П. Эмиссия ртути в окружающую среду при производстве кокса в России. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 15 с.
99. Янин Е.П. Оценка эмиссии ртути в окружающую среду при производстве кокса в России // Экологическая экспертиза, 2005, № 1, с. 2–9.
100. Янин Е.П. Эмиссия ртути в атмосферу при сжигании каменного угля в России // Ресурсосберегающие технологии, 2006, № 3, с. 3–14.
101. Olem H. Coal and coal mine drainage // J. Water Pollut. Contr. Fed., 1980, 52, № 6, p. 1415–1428.
102. Stearman W., Taulis M., Smith J., Corkeron M. Assessment of Geogenic Contaminants in Water Co-Produced with Coal Seam Gas Extraction in Queensland, Australia: Implications for Human Health Risk // Geosciences, 2014, v. 4, p. 219–239.
103. Stout S.A., Emsbo-Mattingly S.D. Concentration and character of PAHs and other hydrocarbons in coals of varying rank – Implications for environmental studies of soils and sediments containing particulate coal // Organic Geochemistry, 2008, v. 39, p. 801–819.