

УДК 338.26:553.981

*М.А. Пашкевич, Т.А. Петрова*

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ  
ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЭК**

Семинар № 6

---

**М**агистральные трубопроводы России имеют общую протяженность более 2 000 км и охватывают около 35 % ее территории, на которой проживает около 60 % населения страны. Протяженность газопроводных магистралей России, включая газопродуктопроводы, - 151 тыс. км. В настоящее время по трубопроводам перемещается 30 % общего объема грузооборота страны. По магистральным трубопроводам доставляется 100 % добытого газа.

Потенциально, при условии проектирования, строительства и эксплуатации на современном техническом и технологическом уровне с соблюдением требований безопасности, трубопроводы являются наиболее экологически чистым видом транспорта углеводородов и важнейшим источником положительных межрегиональных и межсекторальных экстерналий в экономике России.

Тем не менее, в настоящее время, по оценкам специалистов МЧС России, аварийность на трубопроводах с каждым годом возрастает. В XXI век эти системы жизнеобеспечения страны вошли изношенными на 50-70 %, более 30 % протяженности продуктопроводов построено более 30 лет тому назад, около 50 % – более 20 лет назад. Уже к настоящему времени около 30 процентов газоперекачивающих станций технически и морально устарели, а более 15 процентов компрессорных мощностей эксплуатируются уже более 25 лет.

Статистика аварий позволяет сделать вывод о том, что после 20–25 лет эксплуатации возрастает риск аварий, обусловленный ухудшением технического состояния трубопроводов. Кроме того, утечки из трубопроводов приносят стране огромный экономический и экологический ущерб.

Высокая техническая и экологическая опасность газопроводов, нуждающихся в модернизации и реконструкции обостряется тем, что в густонаселенном Центральном районе России порядка 2800 зданий и сооружений находятся на минимальном допустимом расстоянии от магистральных трубопроводов. Количество пересечений магистральными трубопроводами (МГП) железнодорожных и шоссейных дорог составляет около 15 тысяч, количество пересечений водных объектов – около 2 тысяч [1-4]. В зоне воздействия трубопроводов области с постоянно нарушенным почвенно-растительным покровом составляют 5–7 %, а области с его временными (одноразовыми) нарушениями – до 15 % всей площади, вовлеченной в освоение объектами нефтегазового комплекса.

Причины повышенной опасности эксплуатации МГП весьма разнообразны. Прежде всего, большую роль играет существенный износ оборудования и недопустимое превышение плановых сроков его эксплуатации, составляющих около 20 лет. Как показывают результаты анализа статистических данных о динамике аварийности отечественных магистральных трубопроводов, риск аварий существенно

возрастает после 20–25-летнего срока их использования. К настоящему времени до 40 % МГП (от их общей протяженности) амортизированы полностью. Около 35 % протяженности газопроводов эксплуатируется в течение более чем 20 лет, около 15 % – более 30 лет. Технически и морально устарели около 30 % газоперекачивающих станций, причем более 15 % компрессорных мощностей используются дольше 25 лет. В период с 1985 г. до начала XXI века не было построено ни одной крупной магистрали. Ситуация стала меняться только в последние годы, когда было введено в эксплуатацию более 1000 км новых трубопроводов.

К многочисленным причинам высокой аварийности магистрального трубопроводного транспорта относятся также неадекватный выбор и недостаточное качество используемых материалов, обуславливающее интенсивную коррозию труб, нарушения норм и правил при прокладке трасс, различные внешние воздействия природного и антропогенного характера. Повышенная техническая и экологическая опасность газопроводов часто обуславливается также их недопустимой близостью к населенным пунктам, обилием пересечений железнодорожных и шоссейных дорог (около 15 тысяч) и водных объектов (около 2 тысяч.).

Кроме того, разнообразные технические, технологические, природные и антропогенные факторы аварийности находятся между собой в весьма сложном взаимодействии. Это дополнительно затрудняет их анализ, осложняет оценку и нормирование результирующего уровня опасности процессов сооружения и эксплуатации МГП. Поэтому количественные закономерности многофакторной детерминации уровня аварийности газопроводов недостаточно изучены. Соответствующая нормативно-методическая база весьма неполна и не отвечает современным требованиям.

Наконец, строительство, обслуживание и реконструкция магистрального трубо-

проводного транспорта характеризуется высокой капиталоемкостью. Необходимая минимизация затрат финансовых и материально-технических ресурсов требует обоснованного выбора стратегии сооружения, эксплуатации и реконструкции газопроводов с учетом всех ожидаемых экономических издержек, связанных с возможными проектными решениями. Решение этой проблемы возможно только на основе детального изучения технического и эколого-экономического риска. Первоочередной задачей для достижения этой цели является разработка научно-методической основы определения и прогноза эколого-экономических издержек от прокладки трасс, эксплуатации и реконструкции магистральных газопроводов на основе риск-анализа, что обуславливает большую актуальность настоящей работы.

При проведении риск-анализа эксплуатации МГП для репрезентативности результатов статистической обработки в качестве объектов исследования выступали различные участки трубопроводной системы ОАО «Газпром». Учитывались технические, технологические, климатические характеристики факторов аварий на линейных участках МГП за период 1995–2003 гг.

Под *экологической опасностью* МГП предлагается понимать состояние компонентов природной среды, подвергшихся их воздействию, при котором возникла угроза жизненно важным интересам личности, общества, государства.

Под *фактором опасности* предлагается понимать процесс, явление или его составляющие, обладающие поражающим действием. Причиной появления фактора опасности является источник опасности. Техногенные факторы опасности служат источниками возникновения экологической опасности.

Трубопровод представляет собой сложную геотехническую систему, взаимодействующую с компонентами природной среды. С одной стороны, он воздействует на природную среду вследствие экс-

платационных утечек, проведения профилактических мероприятий, ЧС. С другой стороны, природная среда воздействует на трубопровод, приводя к коррозии металлических труб, снижению их прочности, деформации сооружений и, соответственно, к повышению числа отказов.

В этой связи для оценки экологической опасности газопроводов возникает необходимость выделения факторов технического риска. Императивные факторы технического риска при сооружении и эксплуатации газопроводов, выделенные на основании результатов оригинальных исследований и анализа литературы классифицированы на четыре основные группы: *технические, технологические, природные, техногенные.*

К техническим факторам риска относятся факторы, определяющиеся качеством транспортируемого продукта, параметрами и качеством материала изготовления труб, характером стыков труб.

К технологическим факторам технического риска относятся факторы, определяющиеся длиной и временем эксплуатации трубопровода, степенью коррозионного износа труб, расходом и скоростью движения продукта, потерями напора, количеством ниток трубопроводов и расстоянием между ними, общей длиной подземных, подводных, надземных, надводных трубопроводов и др.

К природным факторам технического риска относятся факторы, характеризующие климатические, геологические, геоморфологические, геофизические, инженерно-геологические, гидрогеологические, гидрологические особенности территории расположения газопроводов. К техногенным факторам технического риска относятся факторы, определяющиеся особенностями прокладки трубопровода, направ-

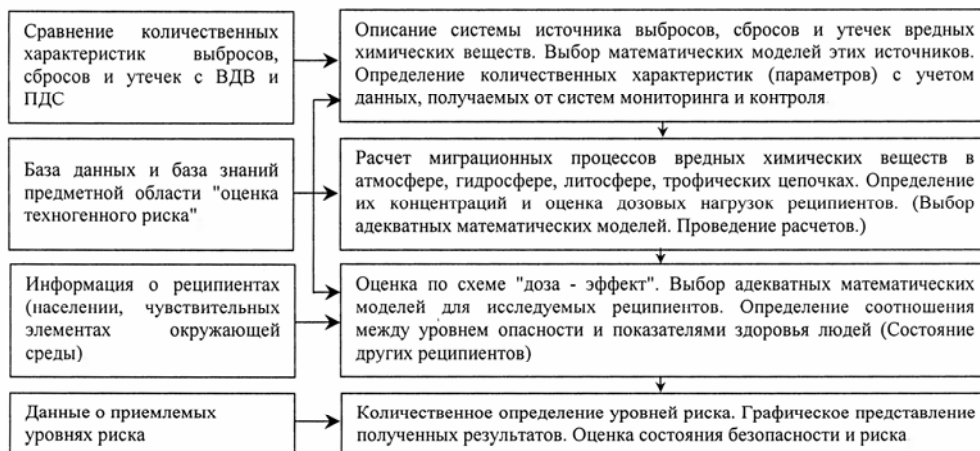
лением и хозяйственным использованием территорий по которым проходит трасса газопроводов, типом пересекаемых транспортных магистралей и коммуникаций, направлением и уровнем техногенной нагрузки на пересекаемые трубопроводом водные объекты.

Идентификация, то есть установление степени опасности объектов, на данном этапе оценки риска включает первичное (начальное) определение степени опасности объектов, основанное на анализе возможных видов ущерба, наносимого человеку и окружающей среде, и выделение приоритетных для проведения последующего анализа объектов.

При проведении идентификации учитываются две категории опасностей: опасности, возникающие в процессе нормального функционирования объектов, и опасности аварийной природы, в том числе нештатные ситуации, при которых имеет место значительное повышение уровня риска.

При нормальном функционировании опасных объектов их техногенное воздействие связано с регламентированными выбросами в атмосферу, а также сбросами в водную среду и почву различного рода вредных химических и биологически активных веществ, являющихся технологическими отходами.

Выбросы в атмосферный воздух могут быть организованными, неорганизованными и распределенными. Организованные выбросы производятся в соответствии с установленными нормами через вентиляционные и дымовые трубы; они вносят основной вклад в загрязнение воздуха. Неорганизованные выбросы связаны с нерегулируемой или слаборегулируемой утечкой загрязняющих веществ из объектов МГП в атмосферу.



**Рис. 1. Структура процедуры по оценке риска при нормальном функционировании опасных объектов**

Регламентированные сбросы жидких технологических сред и других отходов или так называемых сточных вод могут производиться в поверхностные воды. Поверхностные воды загрязняются также за счет спуска в них отходов, прошедших естественную и искусственную очистку в отстойниках и очистных прудах.

При интегрированной комплексной оценке риска, наряду с типичными промышленными выбросами и сбросами, подлежат учету источники коммунально-бытовых сбросов, загрязнение почвы и грунтовых вод за счет утечек из трубопроводов, инжестирующих нефтяных скважин, а также такие неточечные источники загрязнения, как дождевые и мочные стоки с городских дорог и др.

Как уже отмечалось ранее, при установленной системе источников выбросов, сбросов и утечек вредных химических веществ дальнейшая процедура оценки риска включает: расчеты полей концентраций и дозовых нагрузок, падающих на людей и другие объекты живой природы, с учетом всего многообразия миграционных процессов; расчеты наносимого при упомянутых дозовых нагрузках ущерба здоровью человека, другим популяциям живой при-

роды, отдельным биоценозам, экосистемам и элементам окружающей среды, чувствительным к техногенному воздействию; количественное определение уровней риска, сопоставление их с приемлемыми значениями, оценку состояния безопасности и риска.

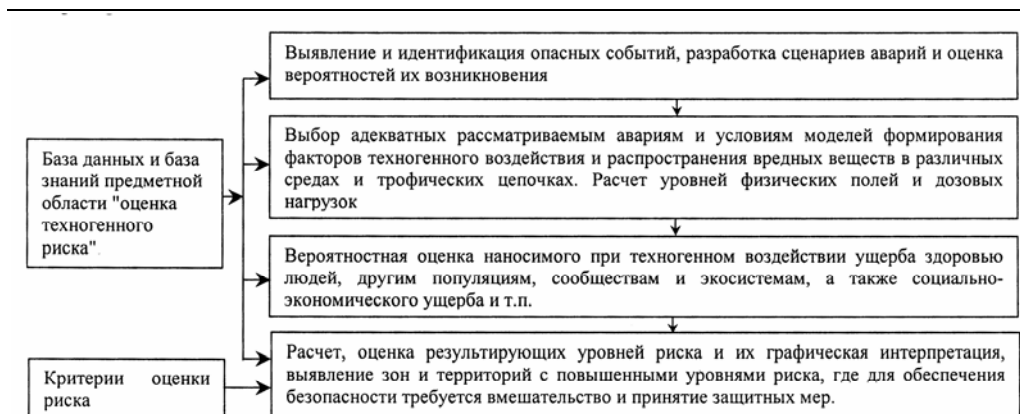
Структура полной процедуры по оценке риска приведена на рис. 1.

При авариях на опасных объектах техногенное воздействие обуславливается процессами взрывного характера, сопровождающимися возникновением ударных волн, пожарами, большими по объему выбросами вредных химических, биологических и радиоактивных веществ и другими явлениями.

Оценка риска аварий включает несколько этапов, начиная от выявления и идентификации возможных опасностей и кончая расчетами уровней риска и сопоставления их с критериями. Схема процедуры такой оценки приведена на рис. 2.

В соответствии с приведенной схемой может проводиться превентивная оценка риска аварий на стадиях выбора местоположения объекта, разработки проекта, опытной эксплуатации и модификации производства, а также оценка риска при авариях.

Во втором случае в схеме процедуры первый этап, связанный с анализом воз-



**Рис. 2. Структура процедуры оценки риска техногенных аварий**

можных аварий, разработкой сценариев этих аварий и оценкой вероятности возникновения, может быть анализ возможных опасных событий и аварийных ситуаций включает рассмотрение существенно сокращен в силу того, что аварийная ситуация не несет в себе полной неопределенности, характер ее развития в большинстве случаев выявлен. Все внимание сосредоточивается на последующих эта-

пах. При этом необходимые математические модели и методы расчетов выбираются с учетом требований по оперативности проводимой оценки и условий складывающейся обстановки всех ситуаций, связанных с отклонением от регламентного функционирования объекта и возникновением того или иного ущерба. Целью этого анализа является выявление последовательностей событий, ведущих в конечном счете к авариям, разработка сценариев возникновения и развития аварий, оценка вероятности их возникновения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гриценко А.И. и др. Экология. Нефть и газ. – М.: Наука, 1997.
2. Гриценко А.И., Босняцкий Т.П., Шилов Ю.С., Седых А.Д. Экологические проблемы газовой промышленности – М.: ВНИИ природных газов и газовых технологий, 1993.
3. Одишария Г.Э., Сафронов В.С., Швириев А.А. Основные задачи природоохранной деятельности в процессе освоения и эксплуатации Бованенковского газоконденсатного месторождения // Доклад на семинаре "Проблемы оценки риска и безопасности объектов газовой промышленности" – Москва, 11–12 мая 1994.
4. Седых А.Д., Апостолов А.А., Кучин Б.Л. Идентификация риска линейной части магистральных газопроводов. Монография. «Газойл пресс», – М., 2001. 176 с.

#### Коротко об авторах

Пашкевич М.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии,  
Петрова Т.А. – аспирантка кафедры геоэкологии,  
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) (СПГИ ТУ).

© Л.В. Плющ, Е.В. Елдина,

УДК 622.88:502.65

*Л.В. Плющ, Е.В. Елдина*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ  
СКЛАДИРОВАНИЯ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Семинар № 6

С 1967 года не утилизируемые токсичные отходы Северо-Западного региона Российской Федерации захораниваются на полигоне «Красный Бор». Предприятие располагается в бассейне р. Невы, в Тосненском районе Ленинградской области. На территории полигона производится захоронение твердых и жидких токсичных отходов горно-металлургического и металлообрабатывающих производств, химической промышленности в «синих» кембрийских глинах, средней мощностью 80 м. За более чем тридцати-летний период эксплуатации на полигоне, площадью 60 га, размещено около 1,5 млн. т отходов. К настоящему времени на территории земельного отвода полигона располагается более 70 карт-приемников отходов, более 95 % которых прекратило свою эксплуатацию. Вследствие отсутствия новых площадей для захоронения отходов, действующие карты переполнены, что приводит к повышению интенсивности водной и воздушной миграции загрязняющих компонентов с территории хранилищ.

Значительный вклад в загрязнение территории предприятия тяжелыми металлами вносит работа установок термического обезвреживания, которые при сжигании жидких отходов выбрасывают в атмосферу неочищенные газы, и котельная полигона.

Для оценки степени загрязнения прилегающих территорий полигона тяжелыми металлами была проведена снеговая съемка.

Опробование снежного покрова является важнейшим методом изучения воздействия атмосферного загрязнения на почвы и грунтовые воды, так как в снежном покрове накапливаются не только компоненты, выпадающие со снежными осадками, но и техногенная пыль переносимая и оседающая в периоды между выпадениями атмосферных осадков [1].

В исследуемом районе отбор проб снега проводился на площади около 150 км<sup>2</sup>. Общее число проб 28, средняя плотность около 1 пробы на 4 км<sup>2</sup>. Пробы были отобраны в течении 10 дней в марте – в период, предшествующий началу снеготаяния, в различных ландшафтных условиях (в лесу, на полях, на территории поселков). Для снижения влияния автомобильного транспорта пробы отбирались не менее чем в 50 м от дорог, за лесополосами.

Отбор проб производился полиэтиленовой трубой диаметром 16 см и длиной 40 см. Нижняя часть керна (1-3 см), где обычно присутствует запыленность поверхностным материалом, удалялась. В процессе пробоотбора фиксировалось количество кернов и мощность снега, что в дальнейшем позволило вести пересчеты аэротехногенных выпадений на единицу

\*Работы выполнены при поддержке российско-американской программы «Фундаментальные исследования и высшее образование» (BRHE)

площади. Пробы отбирались в полиэтиленовые мешки и доставлялись в лабораторию в день отбора.

В лабораторных условиях пробы снега подвергались процедуре медленного таяния в течение 3 дней, с имитацией естественных условий таяния снега, с дальнейшей фильтрацией через бумажный фильтр «синяя лента», для определения веса минеральной пыли. Объем проб составлял в среднем 5 литров. Фильтрат подвергался химическому анализу. Твердый осадок, оставшийся на фильтре, высушивался, взвешивался, озолялся в муфельной печи с постепенным ростом температуры до 450–500 °С в течение 2,5 часов. Озоленный остаток растворялся в царской водке и подвергался химическому анализу [2].

Сокращенный химический анализ проводился по стандартной методике, а содержание тяжелых металлов анализировалось атомно-абсорбционным методом.

В результате обработки и анализа исследований проведена компьютерная обработка и полученные данные объединены в следующие совокупности:

- концентрация растворенных форм соединений и элементов в воде (растворенная фаза);
- концентрация элементов в осадке на фильтре (твердая фаза);
- сумма концентрации элементов в жидкой и твердой фазах с расчетом общей массы выпадений на единицу площади по формуле:

$$C_i = \frac{(C_{ж}^i + C_{тв.}^i) \times V}{S}, \quad (1)$$

где  $C_{ж}^i$  и  $C_{тв.}^i$  – концентрация  $i$ -го загрязнителя в твердой и жидкой фазах, мг/л;  $V$  – объем пробы, л;  $S$  – площадь отбора пробы, м<sup>2</sup>.

Суммарная оценка массы выпадений на единицу площади ( $C_{\Sigma}$ ,  $C_{г}$ ), рассчитано как:

$$K = \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i}{C_{\phi}} \right) - (n-1), \quad (2)$$

где  $C_i$  – суммарное выпадение элемента в данной точке,  $C_{\phi}$  – фоновое значение суммарного выпадения элемента в районе,  $n$  – количество элементов.

По химическому составу талые воды ультрапресные, с минерализацией в среднем 14,2 мг/л (от 7,8 до 29,4 мг/л), хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевые.

Водородный показатель имеет большое значение для понимания геохимических процессов в почвенном покрове и зоне аэрации. Показатель рН талых вод является индикатором техногенного геохимического воздействия. Среднее значение рН-6,2 (от 5,2 до 7,3) единиц, что выше на 1 единицу по сравнению с фоновыми по Ленинградской области. Наиболее высокие значения рН полигона «Красный Бор», свалки и рек Малой и Большой Ижорки.

*Анионы.* Содержание гидрокарбоната в среднем 4,2 мг/л (от 3,7 до 22,0 мг/л), однако несколько ниже фоновых значений для Ленинградской области. Максимальное содержание  $\text{HCO}_3^-$  – 22 мг/л. Следует отметить, что для этой пробы характерно повышенное содержание почти всех макро- и микроэлементов, а также высокая запыленность. На остальной территории аномальных концентраций не выявлено.

Содержание хлоридов составляет 4,4 мг/л (от 3,6 до 8,9 мг/л), что превышает фоновое значение, которое составляет 1,67 мг/л, то есть содержание хлоридов, устойчиво превышает фоновый уровень.

Содержание сульфат-ионов в среднем 1,7 мг/л (от 0,1 до 4,9 мг/л), что почти в два раза ниже фонового значения 3,0 мг/л. Снижение концентрации почти в два раза, вероятно, определяется двумя факторами:

- мягкой малоснежной зимой с коротким периодом снегонакопления,
- снижением объемов производства на крупных предприятиях.

Таблица 1  
 Данные сопоставления данных по растворенной фазе в районе полигона с фоновыми данными

Элементы	Увеличение относительно фона	
	По концентрации	По массе выпадений на единицу площади *
Mn, Cu, Zn, Cd, Sr	1,5 – 2,5	2 – 4,5
Si, Fe, Ba	2,5 – 3,5	5 – 6,5
Al, Ni	7 – 9	14 – 15
Ti	20	40

Примечание: \* - Данные по изученному району увеличены в 5 раз за счет приведения к нормальному периоду существования снежного покрова (ориентировочно 100 дней)

Содержание нитрат-иона в среднем 2,0 мг/л (от 0,5 до 5,0 мг/л) близко к фоновому содержанию – 1,9 мг/л.

*Катионы.* Среднее содержание кальция в снеговой воде составило 1,1 мг/л (от 0,5 до 4,5 мг/л), фоновое содержание 0,7 мг/л.

Для калия, магния и натрия характерны близкие средние концентрации и аналогичное пространственное распределение.

Таким образом, макрокомпонентный состав снеговой воды по концентрации основных металлов мало отличается от регионального фона.

Сопоставление полученных данных по растворенной фазе с характерными фоновыми совокупности по концентрации элементов и по массе выпадений на единицу площади представлены в табл. 1.

Концентрация всех микроэлементов в снеговой воде и количество их выпадений в растворенных формах в районе полигона, относительно фона, повышена в среднем в 5 раз.

Из данных табл. 1 видно, что оценки по количеству выпадений в 1,8–2 раз больше, чем по концентрации, что примерно соответствует разнице оценок влагозапаса и подтверждает верность принятого допущения.

По отношению концентраций элементов в твердой и растворенной формах в снежном покрове изучаемого района элементы группируются следующим образом:

- преобладание в твердой фазе: Al, Ti, Fe, Pb, Cr, Mn, Ba, S – в 1,2 – 1,6 раз,

- примерно равное соотношение в фазах: Cu, Cd, Ni, Sr, K, Mg,

- преобладание в растворенной фазе: Zn – 1,8 раза, Ca – 4 раза, Na – 9 раз.

Приведенное соотношение концентраций элементов в разных фазах соответствует в целом поведению элементов в гипергенном геохимическом цикле.

Особенности состава твердой фазы снега проявляются при сопоставлении с характеристикой подстилающей поверхности (табл. 2).

Этот ряд показывает приоритетные загрязнители, связанные с твердой фазой в изученном районе. В соответствии с проведенными анализами неорганических отходов полигона основными загрязнителями по концентрации являются Cr и Cu, что практически совпадает с данными снеговой съемки.

До настоящего времени для оценок уровня загрязнения снежного покрова сопоставляли коэффициент суммарного загрязнения с местным фоном. В данном случае это не допустимо вследствие того, что данный район является одним из наиболее загрязненных по Ленинградской области.

Региональные фоновые оценки суммарных выпадений (в форме мг/м<sup>2</sup>) имеются только для Al, Fe, Mn, Ti и они примерно вдвое выше использованного районного фона.



Таблица 2

*Состав твердой фазы снега по коэффициенту обогащения*

Элемент	Cd	S	Pb	Ni, Cr, Zn	Cu	Sr, Ba	Fe, Mn	Mg, K, Ca	Al, Ti
Коэффициент обогащения	60	25	15	5-7	3	1	0,6-0,7	0,3-0,5	<0,3

Примечание: Cd, S, K, Na, Mg, Ca – относительно кларка в почвах, остальные элементы – относительно оценок регионального фона

Таблица 3

*Воздействие тяжелых металлов на растения*

Тяжелый металл	Механизм воздействия	Результат воздействия
Алюминий	Через почвенные растворы	Ограниченный и аномальный рост корней, краевой хлороз листьев, деформация растений
Мышьяк	Через почвенные растворы	Накопление в тканях растений, в том числе и в съедобной части овощей, фруктов; замедление роста растений; сбрасывание игл и гибель тонких корней хвойных растений
Кадмий	Оседание аэрозолей через почвенные растворы	Замедление роста растений, хлорозы; воздействие на корневую систему, препятствует поглощению некоторых элементов
Медь	Через почвенные растворы	Накопление в тканях растений, замедление роста растений
Свинец	Оседание аэрозолей через почвенные растворы	Накопление в тканях растений, замедление фотосинтеза и транспирации
Ртуть	Через почвенные растворы, испарение с поверхности почвы	Некроз растений
Никель	Через почвенные растворы	Замедление роста растений
Селен	Через почвенные растворы	Накопление в тканях растений
Ванадий	Через почвенные растворы	Накопление в тканях растений

Для растворенной фазы местный фон выпадений по большинству микроэлементов существенно выше регионального. Для твердофазных выпадений данные по региональному фону тяжелых металлов отсутствуют.

Тем не менее, несмотря на крайне высокое значение фоновых концентраций тяжелых металлов в районе полигона «Красный Бор» наблюдаются значительные их превышения так: средняя концентрация хрома повышена в 3 раза, меди в 3,5 раза, цинка в 4,5 раза, свинца и

никеля в 6 раз, а кадмия даже в 30 раз. С учетом приведенных сведений, очевидно, что если рассчитать коэффициент суммарного загрязнения в изучаемом районе не относительно местного, явно повышенного фона, а относительно регионального фона, то уровень коэффициента существенно повысится и в аномальных полях, скорее всего, достигнет нормативной границы опасного уровня.

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод, что основной

вклад в аэротехногенное загрязнение полигона и его периферии вносят хлориды (100 кг/га), катионы в растворимой фазе (25 кг/га), взвешенные вещества (1260 кг/га) и тяжелые металлы, такие как Cu (103 кг/га в растворенной фазе и 0,23 кг/га в твердой), Ni (137 кг/га в растворенной фазе, 0,25 в твердой), Zn (565 кг/га в растворенной фазе, 0,86 кг/га в твердой) и Cr (0,18 кг/га в твердой фазе).

Загрязнения воздуха и почв в зонах влияния техногенного массива приводят к трансформации различных компонентов природной среды:

- атмосферного воздуха,
- приповерхностных отложений,
- поверхностных и подземных вод,
- биотических компонентов (люди, животные, растения, микроорганизмы).

Качественные и количественные характеристики загрязнения зависят от типа отходов, хранящихся в техногенном массиве, условиями их складирования и хранения [4].

Загрязнение почв тяжелыми металлами вызывает нарушения нормальных циклов развития растений, приводит к задержанию или полному выпадению фенофаз. Существуют различные механизмы воздействия микроэлементов на растения (табл. 3).

Наиболее распространенный путь – проникновение тяжелых металлов в растения через почвенные растворы. Реже микроэлементы попадают в ткани растения через листья. Экспериментами доказано [3], что поглощение листьями тяжелых металлов обычно ограничено и на порядок ниже, чем их поглощение корнями растений.

Таким образом, воздействие техногенных массивов (в частности, содержащих тяжелые металлы и нефтепродукты) вызывает глубокие отрицательные изменения растительного покрова, подрывает его восстановительный потенциал.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беус А.А., Грабовская Н.В. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976.
2. *Василенко В.Н., Назаров И.М. и др.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. – М.: Гидрометеиздат, 1985.
3. *Загрязнение воздуха и жизнь растений.* – Л.: Гидрометеиздат, 1988.
4. *Нижеградзе Т.Н. и др.* Отчет обследования экологического состояния почвогрунтов, поверхностных и грунтовых вод в районе полигона «Красный Бор», – Л.: НПП «Экофи», 1991.
5. *Чехин Л.П.* Отчет по оценке поступления техногенных веществ с атмосферными осадками в зимний период на территорию северо-западной части Ленинградской области. – Л.: ВИН «Гефест», 1991.

#### Коротко об авторах

*Плющ Л.В.* – ассистент кафедры геоэкологии, эксперт по нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу,

*Елдина Е.В.* – аспирантка кафедры геоэкологии,

Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова (технический университет).



УДК 622.257.1:622.273

*А.А. Шубин*

**РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Семинар № 6

---

**Ч**еловеческое общество использует природные ресурсы для удовлетворения своих потребностей прогрессирующими масштабами и темпами, оказывая этим негативное воздействие на окружающую среду. Негативные техногенные воздействия, которые охватили всю биосферу, особенно литосферу, проявляются в изменениях окружающей среды на всей планете и распространились на космическое пространство.

По своим размерам и интенсивности эти воздействия в начале XXI века стали сопоставимы с природными катаклизмами. Наибольшую тревогу вызывает сокращение *биоты* — основы существования всего живого на земле. Отмечено изменение климата, рост концентрации CO<sub>2</sub>, уменьшение содержания кислорода в воздухе.

На предприятиях накапливаются отходы. Отечественные горные отрасли промышленности накопили в отвалах вскрышных и вмещающих пород, шламохранилищах, других техногенных образованиях не менее 5 млрд м<sup>3</sup> отходов. Их ежегодный прирост составляет около 1 млрд м<sup>3</sup>, а использование техногенных ресурсов, по разным оценкам, не превышает 10—12 % от названного объема.

Непрерывно нарастающее вторжение в недра земли, связанное преимущественно с извлечением полезных ископаемых, а также освоением подземных пространств, вызывает адекватную, а часто более мощную, и главное, трудно или вообще не-

предсказуемую реакцию недр на эти воздействия.

Техногенные воздействия на геологическую среду носят сложный комплексный характер, охватывая все ее компоненты (породы, рельеф, почвы, поверхностные и подземные воды, приповерхностную атмосферу, современные геологические процессы). Они имеют наступательную, прогрессирующую тенденцию развития, что обусловлено строительством и вводом в эксплуатацию новых рудников и перерабатывающих предприятий, а также неуклонно возрастающим изменением самой среды.

К *техногенным мероприятиям*, воздействующим на геологическую среду, относятся шахтная разработка, складирование на поверхности отходов обогащения руд, застройка территории. Как следствие этих мероприятий происходят процессы сдвижения массивов горных пород на подрабатываемых участках, оседание и провалы поверхности, внезапные прорывы воды, активизация карста в соляной толще, засоление и изменение свойств грунтов, загрязнение поверхностных и подземных вод. Источниками загрязнения (засоления) являются промплощадки, отвалы, рассолосборники, шламохранилища, фонтанирующие скважины. Естественно, что основные изменения геологической среды, охватывающие значительные площади, должны учитываться при разработке природоохранных мероприятий.

Данные об оседаниях поверхности базируются на многолетних инструмен-

тальных наблюдениях, выполненных по опорным профилям [1]. По данным [2], при первичной подработке одного пласта месторождения скорость оседания поверхности над ним составляет 2—10 мм/год, а при повторной подработке она возрастает до 20—30 и даже 100 мм/год. На Соликамском руднике суммарные оседания за 19 лет составили 558 мм. Согласно прогнозам, просадка поверхности в районах шахтных полей в конечную стадию не превысит 3—5 м. Однако при определенных горно-геологических условиях скорость просадки поверхности может возрастать до 1,5 м/год, а ее амплитуда достигать 3,5 м. Такие просадки представляют опасность для зданий и сооружений. При глубоком залегании грунтовых вод и интенсивном эрозионном расчленении поверхности плавные опускания со скоростями 5—10 мм/год не окажут существенного воздействия на природные условия. При неглубоком залегании грунтовых вод осадки на 1—2 м приведут к заболачиванию и подтоплению территории.

Сдвиги пород над выработками, раскрытие трещин, просадки и изменение гидрогеологических условий могут быть причиной катастрофических провальных явлений, а также *внезапных прорывов воды* из поверхностных водоемов в горные выработки. Эти прорывы, как правило, бывают обусловлены подработкой водоемов горными работами шахт, а также незаметными ранее трещинами и тектоническими нарушениями, соединяющими собой поверхностные водоемы с горными выработками шахт.

Нередко прорывы воды из поверхностных водоемов, ливневых и паводковых вод в горные выработки, затоплявшие шахты, сопровождались очень тяжелыми последствиями.

Каналом прорыва воды может послужить полость, возникшая в тампонажном заполнителе выработки или в породной толще над выработкой. Подобное явление, по-видимому, имело место при аварии, произошедшей 23 октября 2003 года. Как

сказано в «Заключении по безопасной отработке запасов шахты «Западная – Капитальная...», под влиянием гидростатического давления в затопленных выработках по несветаевским пластам произошло повышение проницаемости массива на участке между порожняковой ветвью околоствольного двора и главным стволом № 2. По образовавшемуся каналу под давлением около 1,2 МПа произошло поступление воды в ствол из затопленного пространства с нарастающим дебитом. Начальная стадия прорыва – образование канала поступления – длилось не более 10-15 минут; весьма быстро дебит достиг 20000–30000 м<sup>3</sup>/ч. Для установившегося дебита площадь сечения в пересчете для изометричного канала его поступления составляет около 0,25 м<sup>2</sup>, размеры сечения – около 0,5х0,5 м.

Частичное разрушение тампонажного заполнителя выработки могло быть связано с его разуплотнением и расслоением горного массива под влиянием разрушения заполнителя, затопления горных выработок и насыщения породного массива водой. Повышение гидростатического давления сопровождается разуплотнением глиноцементной закладки и горного массива, раскрытием существующих и образованием новых трещин, особенно вдоль наслоения.

Возникновение канала и последующего прорыва шахтных вод определяется гидродинамическими и геомеханическими факторами. Повышение гидростатического давления кроме разуплотнения пород сопровождается снижением сил трения и сцепления. Разрыв закладки происходит вдоль ее контакта с трещиноватым массивом в кровле выработки. Этот массив был затампонирован, но под влиянием высоких гидростатических и гидродинамических давлений его проницаемость повышалась, о чем свидетельствовали водопритоки в ствол, зафиксированные в интервале выше затампонированной выработки.

Закладка выработки, сопряженной со стволом, глиноцементным материалам

условиях ограниченных гидростатических давлений обеспечило временную гидроизоляцию крепи ствола. Однако при затоплении несветаевских пластов гидростатическое давление на тампонажную закладку достигло 12 атмосфер, что сопровождалось увеличением водопритока в ствол. Повышение давления способствовало деградации глиноцементной закладки, постепенному ее размыву и в конечном итоге ее разрушению. Ускорило разрушение сопряжения обрушение зависшей кровли выработанного пространства, вызвавшее подобие гидравлического удара, приведшего к разрушению глиноцементной закладки и расширению образовавшегося прорана, чем и объяснялось активное нарастание катастрофического водопритока в шахту.

Прорывы воды в горные выработки из трещиноватых и карстовых скальных водоносных пород вследствие значительных водопроводящих каналов (трещин и карстовых полостей) характеризуются часто большими притоками воды, достигающими до тысячи м<sup>3</sup>/ч и более, и почти полным отсутствием или незначительным выносом размытых горных пород.

В ночь с 23 на 24 июля 1986 г. произошло обрушение горных пород и взрыв газа со световым эффектом в районе в районе г. Березники [3]. На месте скважины образовался провал в плане 40x80 м. Провал возник в толще пород мощностью более 400 м, что практически исключало вскрытие полости. Обломки породы с поперечником до 70 см выброшены взрывом на расстояние до 600 м. Провальная впадина заполнилась водой. Развитие ее проявляется в оплывании и оползании 20—25-метровой супесчано-суглинистой флювиогляциальной толщи, залегающей на уфимских породах. В настоящее время в разрезе провала выделяются 2 части: верхняя с оползневыми склонами (20—40°) и нижняя с обрывистыми вертикальными бортами в уфимской толще глубиной (до воды) около 25 м. В одном из бортов провала отмечено нарушение с разры-

вом, смещением и дроблением пластов, прослеживающееся также в противоположном борту.

Предпосылкой провала явилась отработка калийного пласта методом податливых целиков. При такой отработке ширина выработанных камер больше, нежели целиков между ними, что ведет к раздавливанию последних, деформациям кровли и возникновению в ней трещин, проникающих вверх на десятки метров. При пересечении их с уже существовавшим нарушением создались условия для проникновения в камеры рассолов, экранирующих соляную залежь. Формирование вертикальных каналов, усиление фильтрации, образование депрессионной впадины в рассольном горизонте привело к притоку по нарушению пресных агрессивных вод верхних горизонтов. Их воздействие обусловило прогрессивный рост полости растворения в соляной и покрывающей ее соляно-мергельной толщах, которая при достижении критических размеров вы-

Наиболее опасны по своим последствиям прорывы в горные выработки песков пльвунного характера и пльвуннов, которые происходят или на контакте их с плотными и крепкими породами, или при недостаточной мощности плотных пород.

Во всех случаях самыми опасными по своим последствиям являются прорывы воды в горные выработки, при которых происходит размывание и разрушение пород вокруг горных выработок, что почти всегда влечет за собой их деформацию и разрушение [4].

Давление воды при внезапных прорывах в горные выработки из подземных водоносных горизонтов колеблется в довольно широких пределах — от безнапорных и в несколько атмосфер до нескольких десятков атмосфер. Это зависит от мощности и глубины залегания выработок от поверхности земли, гидравлической связи с другими вышележащими или нижележащими водонос-

ными горизонтами, а также поверхностными водоемами.

*Развитие карстовых процессов в отвалах.* В отвалах, характеризующихся неоднородностью, хорошей водопроницаемостью и растворимостью материала, формируются гидродинамические зоны, аналогичные зонам карстовых массивов: поверхностная, нисходящего вертикального (аэрации) и горизонтального движения воды. Источниками обводнения отвалов являются влага, отжатая из свежееотсыпанных отходов, содержащих 8—9 % воды; атмосферные осадки (500—600 мм/год), а также конденсационная влага. Влага в отвалах находится в виде рассолов (100—350 г/л). Рассолы, отжатые вблизи фронта свежей отсыпки, имеют локальное распространение. Основная масса рассолов образуется из атмосферных осадков.

Большую часть вертикального разреза отвалов занимает зона аэрации. Она характеризуется высокой водопроницаемостью, особенно в верхней закарстованной части. Здесь выделяется две подзоны: вертикального перемещения растворенных веществ и нерастворимых включений мощностью 2—7 м и аккумуляции (вмывания) нерастворимого материала в виде маломощного, обогащенного глиной пласта. Пласт является относительным водупором, по которому вода стекает к подножью склона. В присклоновых частях отвалов пласт наклонен в соответствии с откосом. На глубине 1—5 см от поверхности отвалов в результате испарения влаги образуется плотная соляная корка толщиной до 1 см.

В нижней части отвалов располагается рассолонасыщенная зона. Рассолы движутся к периферии отвалов и разгружаются в виде источников у их подножья, а также путем фильтрации в отложения, залегающие в основании отвалов. Дебит источников изменяется от 0,1 до 5,0 л/с и более. Скорость фильтрации рассолов в подстилающие отложения определяется водопроницаемостью последних, наличием или отсутствием искусственного экра-

на, рельефом ложа. В отдельных случаях она может достигать миллиметров за сутки. По приблизительным подсчетам, за год из соле-отвала выносятся в растворенном состоянии сотни тысяч тонн солей. В местах выхода источников отлагаются туфовые плотины, а в полостях — натечные соляные агрегаты.

В отвалах формируются поверхностные и подземные карстовые формы [3]. Поверхностные формы связаны в основном с движением воды по поверхности и в зоне аэрации. Формы представлены отрицательными (трубчатые образования, рвы, воронкообразные углубления, ложбины) и положительными (выступы, останцы) разновидностями. Останцы генетически связаны с останками конвейерных транспортных линий (куски металла, резины, шифера), которые изолируют участки на поверхности отвалов от воздействия осадков. За десятилетие поверхность отвалов снижается на 20—50 мм/год.

Подземные формы отвалов практически не изучены. Анализ скорости процессов растворения свидетельствует о том, что внутри отвалов должны формироваться значительные по размерам пустоты. В настоящее время обследованы лишь небольшие пещеры по периферии отвалов, в местах выхода на поверхность карстовых источников. Пещеры представляют собой каналы, образующиеся путем растворения и эрозионного действия подземных потоков. Длина одной из обследованных пещер около 30 м. Подземный ручей фиксируется на поверхности провальными воронками, коррозионными окнами. Стенки и своды подобных пещер очень неустойчивы, поэтому они быстро эволюционируют, преобразуясь по мере последовательного вскрытия сводов в карстово-эрозионные рвы. В случае формирования подземным ручьем нового русла они превращаются в водосборники и русла периодического стока.

Интенсивное растворение материала отвалов и вынос солей приводит к появлению оконтуривающих их зон засоления,

вытянутых по направлению движения рассольных вод. По мере закарстования процесс выноса солей из отвалов усиливается. В понижениях, прилегающих к подножью отвалов, образуются озера с соленой водой, в которых происходит садка солей. Соляные озера вместе с питающими их ручьями также являются источниками загрязнения грунтовых вод территорий, прилегающих к отвалам.

*Активизация карста в соляной толще.*

В результате эксплуатации рудника № 2 Стебницкого ГГХП «Полиминерал» образовано более 15 млн. м<sup>3</sup> подземных пустот. Для защиты от притока воды в горные выработки над ними был оставлен целик мощностью 50-60 м. Однако с начала 80-х годов произошел прорыв воды в камеры, началось активное растворение соляных пород на контакте с глинисто-гипсовой шлямпой, образование карстовых полостей и неравномерное оседание поверхности над ними. Площадь инфильтрации поверхностных вод постоянно увеличивается, как и увеличивается подземный водоприток (1000 м<sup>3</sup>/сут), что приводит к ускорению карстообразования. В настоящее время на поверхности над рудником № 2 обнаружено более 20 карстовых воронок, выявлено около сотни зон разуплотнения, объем карстовых пустот составляет около 700 тыс. м<sup>3</sup>. Ежедневный прирост карстовых пустот доходит до 3-4 тыс. м<sup>3</sup>. Таким образом, над рудником № 2 сложилась весьма опасная геодинамическая и гидрогеологическая ситуация, которая представляет серьезную экологическую опасность прилегающим городам и селам, строениям и дорогам.

На площади Верхнекамского месторождения калийных солей выщелачивание солей отмечается при проходке и эксплуатации шахтных стволов и скважин, в зонах влияния старых рассольных скважин, районах групповых водозаборов, в отработанных горных выработках [5]. При проходке и эксплуатации всех шахтных стволов, несмотря на изоляцию контакта водосодержащих и соляных пород отмечались

водопроявления. Объемы отдельных карстовых полостей в покровной каменной соли и карналлитовой породе достигали нескольких сотен кубометров. Наличие в зоне обводненного контакта трещин, а в некоторых случаях карстовых полостей, является причиной притока воды в шахтные стволы.

На рассматриваемой территории функционировало почти полтора десятка крупных пунктов рассолодобычи, которые насчитывали более 200 скважин. Ряд скважин фонтанирует, что способствует выносу солей и образованию карстовых полостей. В выработанном пространстве происходит как растворение соли конденсационными водами, так и отложение из перенасыщенных растворов соляных сталактитов и натечных корок.

Таким образом, техногенные воздействия на геологическую среду в ряде регионов носят прогрессирующий характер и включают ряд взаимосвязанных явлений. Полный цикл исследований влияния должен включать учет интегрального воздействия промышленного комплекса на окружающую среду.

В первую очередь необходимо выявить элементы геологической среды, подвергающиеся воздействию горнодобывающего предприятия и дать оценку их изменений. С этой целью составляются карты типологического районирования на поверхностную зону (до первого регионального водоупора) и на всю мощность зоны инженерного воздействия (глубину заложения горных выработок). *Первый этап* работ завершается составлением одной или нескольких прогнозных карт изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий в зоне воздействия горнодобывающих предприятий. *Второй этап* включает разработку на основе прогнозных карт конкретных рекомендаций для снижения отрицательного воздействия на среду горнодобывающих предприятий или промышленных комплексов.





---

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Тетерин А.В.* Обоснование параметров сдвижения земной поверхности при ее многократной подработке в условиях подземной разработки угольных пластов / Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Шахты, 2004. –170 с.

2. *Шадрин А. Г., Аникин Н. Ф.* Основные результаты наблюдений за оседанием поверхности на Верхнекамском месторождении калийных солей, расчетные схемы для этих условий // Межвуз. темат. сб. научн. тр. / Разработка соляных месторождений. Пермь, 1974.

3. *Андрейчук В. Н., Лукин В. С.* Большой Березниковский провал // Проблемы изучения техногенного карста/Тез, докл. Кунгур, 1988.

4. *Калмыков Е.П.* Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки.– М.: Недра, 1973.– 240 с.

5. *Бельтюков Г. В.* Техногенный карст в условиях Верхнекамского соленосного бассейна//Проблемы изучения техногенного карста / Тез, докл. Кунгур, 1988.

---

**Коротко об авторах**

*Шубин А.А.* – кандидат технических наук, доцент, Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (НПИ).

---

**ДИССЕРТАЦИИ**

**ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ  
ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ**

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
ЩЕРБАКОВА Елена Павловна	Геолого-экологическое обеспечение природоохран-ных технологий освоения техногенных массивов	25.00.16	д.т.н.
БЕРЛИЗЕВ Михаил Николаевич	Экономическое обоснование ставок регулярных платежей за право пользования недрами в угольной отрасли	08.00.05	к.э.н.

