

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ И ГЕОФИЗИКИ НАН БЕЛАРУСИ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИИ, ГЕОЛОГИИ И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

МАТЕРИАЛЫ

Международной научной конференции,
посвященной 100-летию со дня рождения
академика

КОНСТАНТИНА ИГНАТЬЕВИЧА ЛУКАШЁВА

(1907—1987)

14—16 марта 2007 г., Минск

Под редакцией О. В. Лукашёва

Минск

«Издательский центр БГУ»

2007

Ю. А. ГЛЕДКО

**УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ
ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

Проблема устойчивости геологической среды в настоящее время находится в центре внимания ученых-геологов. Интерес к данной проблеме вызван участвующими случаями проявления негативных и опасных процессов при увеличении техногенного воздействия на геологическую среду. Особенно наглядно процессы техногенеза проявляются в районах активного функционирования горнодобывающей, химической, перерабатывающей, энергетической и некоторых других отраслей промышленности, а также в местах расположения объектов мелиорации, сельского хозяйства, градостроения.

Устойчивость геологической среды, как абиотического компонента геосистемы, рассматривается в рамках устойчивости природных геосистем. Устойчивость геосистем определяется способностью противостоять внешним воздействиям, т.е. возможностью самостоятельно устранять любые нарушения в циклах превращения веществ и потоке энергии. В процессе развития геосистемы нарушения в равновесии, вызванные воздействием извне, устраняются в соответствии с принципом Ле Шателье. Согласно этому принципу система считается «жизнеспособной», или устойчивой, если в ответ на внешнее воздействие, дестабилизирующее систему, в ней возникают процессы противодействия, компенсирующие или полностью ликвидирующие неблагоприятные последствия этого воздействия. Ослабление процессов сопротивления при возрастающем воздействии извне свидетельствует о превышении допустимого порога воздействия на данную систему и потере ею устойчивости [1].

Увеличение техногенного воздействия на геосистемы Республики Беларусь сопровождается неизбежным истощением природно-ресурсного потенциала и поступлением большого количества загрязняющих веществ, что в конечном итоге приводит к нарушению равновесия в природных геосистемах и снижению их устойчивости. Техногенное воздействие разрушает существующую организованную структуру геосистем, которая была достигнута в ходе длительной эволюции к устойчивому равновесному состоянию, тем самым, вынуждая последние развиваться в обратном направлении. В результате мы наблюдаем деградацию природных геосистем и превращение их в природно-техногенные геосистемы.

При воздействии человека на геосистемы наибольшему изменению подвергаются почва, биота, водный и тепловой режимы, их трансформация вызывает

обратимые изменения в геосистеме. Необратимые изменения в геосистеме происходят после нарушения твердого фундамента рельефа, климата, так как эти компоненты являются основными входами в геосистему, через которые извне поступает вещество и энергия. Наиболее устойчивым компонентом геосистемы служит геологическая среда (литогенная основа геосистемы), в случае нарушения она не способна восстанавливаться. Преобразование литогенной основы геосистемы формирует совершенно новые системы – техногенные (отвалы, карьеры, выемки, терриконы и т.д.) и оказывает влияние на биоту, водный и тепловой режимы, поэтому стабильность фундамента геосистемы – важная предпосылка ее устойчивости.

Изменения геологической среды происходят в основном под влиянием добычи полезных ископаемых, образовавшиеся при этом техногенные формы рельефа формируют новые природные комплексы, перемещение пород нарушает естественный режим поверхностных, почвенных, грунтовых вод, возможно образование поверхностных водоемов, заболачивание территории.

Крупнейшими и наиболее типичными объектами горнодобывающей промышленности республики являются ПО «Беларуськалий» по добыче и переработке калийных солей, РУПП «Гранит» на базе Микашевичского месторождения строительного камня, ОАО «Доломит» по производству пылевидных известковых материалов. На территории республики также открыты весьма перспективные месторождения каменной соли, бурого угля, горючих сланцев, глин, песков, карбонатного сырья и т.д. В результате геологоразведочных работ (бурение скважин, сейсмические исследования и др.) нарушаются физико-механические свойства почв и горных пород, загрязняются подземные воды. Негативное воздействие на геологическую среду оказывает добыча полезных ископаемых (табл.). В связи с этим, проблема комплексной оценки устойчивости геосистем к горнотехническому воздействию является весьма актуальной.

Главной предпосылкой объемного расчленения геосистем служит принцип учета вертикальной и площадной неоднородности, обусловленной последовательной сменой по площади типов геосистем, различающихся составом, строением, свойствами, следовательно, и различной реакцией на техногенное воздействие. Категория устойчивости для любого типа геосистем устанавливается в зависимости от следующих основных факторов: литологического состава пород и грунтов, уровня грунтовых вод (мощности зоны аэрации), степени защищенности грунтовых вод, активности современных геологических процессов, характера почвенного и растительного покрова. Комплексный анализ этих сведений позволяет оценить

экологическое состояние геосистем и выделить территории с высокой, средней, низкой и весьма низкой степенью устойчивости к техногенным нагрузкам по природным факторам. *Высокой степени* устойчивости геосистем соответствуют прочные грунты (супеси, суглинки) достаточной мощности, безводные или с низким уровнем грунтовых вод (5–10 м), ровной поверхностью со слабой или умеренной интенсивностью современных геологических процессов ($K_{\text{п}} = 0,0-0,1$), относительной стабильностью территории в неотектоническом плане (степень неотектонической активности – 1–2 мм/год). *Средняя степень* устойчивости геосистем характеризуется прочными и средней прочности грунтами (супеси, пески), близким к поверхности залеганием уровня грунтовых вод (3–5 м) в пределах равнинного рельефа с преобладанием отрицательных деформаций поверхности ($K_{\text{п}} = 0,25-0,5$). *Низкая и весьма низкая степень* устойчивости геосистем характеризуется слабыми грунтами (пески, супеси, торф), близким залеганием к поверхности (часто у поверхности) уровня грунтовых вод (0–2 м), значительно расчлененным рельефом ($K_{\text{п}} = \text{более } 0,5$), высокой интенсивностью современных геологических процессов (5–10 мм/год) [2].

Основная часть территории Белорусского Полесья, где получили широкое развитие предприятия по добыче и переработке калийных солей, строительного камня, нефти, представлена аллювиальными террасированными, болотными и вторичными водно-ледниковыми природными территориальными комплексами, низкая и весьма низкая устойчивость которых обусловлена слабой вертикальной расчлененностью рельефа (0–5 м), широким развитием заболоченных и пойменных территорий (заболоченность – около 23 %), а также высоким уровнем грунтовых вод на большей части региона.

Для горнотехнической деятельности проведена типизация видов воздействия, каждый из которых характеризуется своими конструктивно-функциональными особенностями, вектором направленности в пространстве и размерами зоны влияния [4]. Существенное влияние на геосистемы Белорусского Полесья оказывают добыча и переработка калийных солей. Наиболее опасными процессами при взаимодействии геосистем и техносферы являются: загрязнение поверхностных и подземных вод, почв, грунтов, изменение гидрогеологических условий, рельефа, состояния и свойств горных пород, геодинамической ситуации. В районах добычи строительного камня трансформация компонентов геосистем выражается в преобразованиях рельефа и существенной дестабилизации гидрогеологических условий.

С точки зрения потери равновесия и снижения устойчивости, вызванных внешним воздействием, нарушения в геосистемах заставляют последние как бы

эволюционировать (развиваться) в обратном направлении. В результате мы наблюдаем деградацию природных геосистем. Для сохранения устойчивости геосистема включает процессы сопротивления, нейтрализующие последствия внешнего воздействия и восстанавливающее равновесие.

В геологической среде аналогом подобного рода процессов может служить рост напряжения, сопровождающий накопление деформационных повреждений в породах при различных нагрузках [3]. Например, подземные выработки приводят к росту напряжения в окружающих выработку массивах горных пород. Возникающие в породах (в ответ на воздействие) силы сопротивления приводят к формированию естественных породных конструкций, снимающих напряжение и обеспечивающих устойчивость массива горных пород вокруг выработки в новых условиях. Однако при снижении сопротивляемости горных пород под действием различных факторов рост напряжения приводит к развитию негативных и опасных геологических явлений.

В результате интенсивной отработки калийных горизонтов Старобинского месторождения в земных недрах происходит перераспределение тектонических напряжений, что способствует образованию систем трещин в массивах горных пород, активизации газодинамических явлений, возникновению местных землетрясений. Разработка Старобинского месторождения калийных солей осуществляется в сложных геологических условиях на ограниченном пространстве шахтных полей четырёх рудников. Район проведения горных работ отличается высокой геодинамической активностью. Наиболее интенсивно процесс изменения напряжённо-деформированного состояния пород протекает при применении систем разработки с малыми потерями запасов калийных руд. На Старобинском месторождении в пределах участков шахтных полей при камерных системах разработки с низким коэффициентом извлечения сильвинитовых руд (до 0,5), продолжительность процесса сдвижения горных пород достигает 15-30 лет, носит плавный характер. Внедрение системы разработки с повышенным коэффициентом извлечения до 0,8-0,9 (селективная выемка длинными очистными лавами) сокращает этот период до 5-10 лет, при этом максимальные величины оседания и деформации характерны в первые 1-1,5 года после отработки.

При отработке 2-х калийных горизонтов (II и III) конечная величина оседания земной поверхности составляет 4,0-4,5 м, что приводит к образованию трещин, эрозионно-суффозионных провальных воронок на поверхности земли различной конфигурации, глубиной до 1-1,5 м. В зонах локальных геологических нарушений происходят внезапные выбросы соли и газа, обрушение пород кровли,

сопровождающиеся газовыделениями. Чаще всего газодинамические явления наблюдаются в зонах разломов, местах пересечения и сопряжения выработок, т.е. на участках ослабления массива. К последним относятся зоны повышенной трещиноватости и повышенных тектонических напряжений.

Сейсмические явления в Солигорском районе вызваны концентрацией и разрядкой напряжений в литосфере, энергетическая подпитка которых, возможно, обусловлена сильными карпатскими транзитными землетрясениями. Локальное перераспределение регионального поля напряжений связано с проведением горных работ. К техногенным причинам возникновения чрезвычайных сейсмических ситуаций следует отнести также воздействие солеотвалов, шламохранилищ, Солигорского водохранилища на верхнюю часть литосферы. Эти объекты над подработанными шахтными полями ведут к перераспределению напряжений и нарушению изостатического равновесия в земных недрах, увеличивают сейсмический риск на территории промрайона [4].

Наиболее опасным геодинамическим процессом, развивающимся при эксплуатации Старобинского месторождения, является просадка территории. При возникновении просадок и повышении уровня грунтовых вод имеют место заболачивание, деформации в зданиях и сооружениях, выход из строя подземных коммуникаций. Процесс проседания начинается сразу же вслед за подработкой участка, достигая наибольшей интенсивности через 5 лет, далее постепенно затухает. Техногенные деформации осадочных пород над отработанными горными выработками охватывают толщу мощностью от 400 до 600 м. На поверхности земли они проявляются через 0,5-5 лет после отработки шахтной выработки в виде пологих просадочных мульд площадью до 20 тыс. га, из которых 6,5 тыс. га подвержены заболачиванию [4]. Мульды имеют четкие контуры в пределах холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов, плавные или расплывчатые очертания на участках вторичных водно-ледниковых ландшафтов. Размеры мульд в поперечнике колеблются от нескольких десятков до первых сотен метров, глубина простираения таких форм до 3-5 м.

Процессы оседания земной поверхности приводят к повышению уровней подземных вод. В условиях равнинно-низинного рельефа Старобинского месторождения, к которому прилегают значительные площади осушенных и естественных болотных массивов с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод (УГВ) и развитой речной сетью, наблюдаются процессы затопления земель и населённых пунктов (УГВ выше осевшей поверхности), подтопления (УГВ совпадает с поверхностью земли) и заболачивания (УГВ ниже поверхности на 0,5-0,6

м). Появляется опасность подтопления отдельных участков шламохранилищ и солеотвалов, что может интенсифицировать процесс выноса солей из них через подстилающие водонасыщенные грунты зоны аэрации в грунтовые воды.

Таким образом, негативные и опасные геологические процессы развиваются как следствие возникновения в геосистемах, необратимо стремящихся к равновесию, сопротивления внешнему воздействию. Эти процессы следует рассматривать как своего рода барьер, который формируется природой в целях защиты от внешнего воздействия. Это может служить методологической основой мониторинга геологической среды и геосистемы в целом. Наблюдая за динамикой и скоростью развития негативных и опасных геологических процессов, можно оценить устойчивость геологической среды и ее способность адаптироваться к изменившимся условиям, а в конечном итоге – проследить эволюцию геологической среды в условиях техногенного воздействия.

1. Горшков В.Г., Кондратьев К.Я. Принцип Ле Шателье в приложении к биосфере // Экология. – 1995. – № 1. – С. 7-16.

2. Гледко Ю.А., Антипин Е.Б. Геоэкологические последствия горнодобывающей деятельности в Белорусском Полесье // Вестник БГУ. Сер. 2. – 2003. - № 1. – С. 69-78.

3. Пашкин Е.М. Природные конструкции и их роль в формировании устойчивых подземных выработок // Инженерная геология. – 1992. - № 1. – С. 3-12.

4. Губин В.Н. Экология геологической среды: Учеб. пособие / В.Н. Губин, А.А. Ковалев, С.А. Сладкопечев, М.Г. Ясовеев. – Мн.: БГУ, 2002. – 120 с.

Классификация причин и характерных видов нарушений, возникающих в результате добычи полезных ископаемых

Этапы подготовки и разработки месторождений	Геомеханические	Гидрологические, гидрогеологические	Химические	Физико-механические	Термические
Геолого-разведочные работы (бурение, геофизические исследования)	Монтажные работы, воздействие тяжёлого оборудования, деформации горных пород и земной поверхности, сооружение отстойников и земляных амбаров	Загрязнение поверхностных и подземных вод. Изменение уровня подземных вод (УПВ), ухудшение качества грунтовых вод (ГВ).	Загрязнение жидкими и твёрдыми отходами бурения, эмиссия газов и химически активной пыли; сбросы загрязнённых вод, технологические утечки буровых растворов. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод и почв; изменение геохимической обстановки.	Эмиссия пыли и аэрозолей, сбросы вод, загрязнённых суспензиями и гидрозолями. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод, почв.	Загрязнение воздуха, сбросы подогретых вод. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, биогеохимических процессов в воде, микроклимата.
Строительство шахт и карьеров	Деформация поверхности, отсыпка отвалов, взрывные работы, сооружение насыпей и траншей. Изменение рельефа, геологической структуры, отчуждение территорий, изменение их инфраструктуры	Загрязнение поверхностной и подземной гидросферы; смещение русел водотоков, дренаж подземных вод. Изменение УПВ и гидрографической сети (строительство каналов, ликвидация малых рек, озёр, прудов).	Загрязнение химическими элементами атмосферы, поверхностных и подземных вод, почв, растительности; сбросы загрязнённых сточных вод. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод, почв; возникновение техногенных геохимических барьеров.		
Добыча полезных ископаемых	Деформации поверхности, горных пород, образование отвалов, сооружение отстойников. Отвалы, карьеры, просадки, заболачивание, затопление, подтопление; сдвигание, обвалы горных пород, техногенные землетрясения, повреждение коммуникаций и сооружений	Дренирующее воздействие подземных и открытых горных выработок, отсыпка отвалов, откачка подземных вод. Изменение УПВ, их движения, ухудшение качества, уменьшение запасов; оседание поверхности (заболачивание, затопление, подтопление).	Выбросы обогатительных фабрик, химическое загрязнение вод, воздействие токсических компонентов отвалов и шламохранилищ. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод, почв, грунтов. Возникновение геохимических барьеров, аномалий.	Массоперенос загрязняющих веществ в подземной гидросфере, фильтрационная консолидация в накопителях жидких и твёрдых отходов, литификация и уплотнение пород в их основании, ветровая эрозия на поверхности терриконов, техногенный соляной карст. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, вод, почв.	Загрязнение воздуха, сбросы подогретых вод, нагнетание подогретых вод в горный массив. Изменение состава и свойств атмосферного воздуха, биогеохимических процессов в воде, микроклимата.

