

УДК [622.02:622.411.3]:536.422

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ**¹Баранов В.А., ²Кириченко В.А., ¹Антипович Я.В.**¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины**ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ОСАДОЧНИХ ПОРОДАХ****¹Баранов В.А., ²Кириченко В.А., ¹Антіпович Я.В.**¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²Інститут проблем природокористування та екології НАН України**GEOLOGICAL PROCESSES IN SEDIMENTARY ROCKS****¹Baranov V.A., ²Kirichenko V.A., ¹Antipovich Y.V.**¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²Institute of Problems of Nature Conservation and Ecology of NAS of Ukraine

Аннотация. В статье описаны основные геологические процессы, происходящие на разных стадиях и подстадиях литогенеза. Учёт свойств и состояния горных пород на горных предприятиях является актуальной научной и прикладной проблемой. В настоящее время выделено три основных стадии литогенеза – седиментогенез, диагенез и катагенез. В каждой из стадий литогенеза происходят только ей присущие геологические процессы. Информация о том, в отложениях какой стадии литогенеза выполняются горные работы, позволяет прогнозировать свойства горных пород. Свойства горных пород нужно знать для выбора оптимальных схем отработки полезных ископаемых. Горные работы каждого горного предприятия имеют свои особенности. Безопасность и эффективность работы горного предприятия зависит от правильного прогноза геологических процессов. Для стадии седиментогенеза характерны такие геологические процессы как обрушения, оползни, суффозия, паводки, обводнение и др. Для стадии диагенеза характерными являются размывы, провалы, просадка, плывуны, взрывы газа, карстообразование и др. Стадия катагенеза делится на три подстадии – ранняя, средняя и поздняя. Для всех трех подстадий катагенеза характерны динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах. Для ранней подстадии катагенеза такими являются взрывы газа, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суффляры, плывуны и др. Для средней подстадии катагенеза характерны взрывы газа, выбросы угля, пород и газа, горные удары, вывалы, отжимы, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суффляры, плывуны и др. Для поздней подстадии катагенеза характерны такие динамические и газодинамические явления как взрывы газа, выбросы угля и газа, вывалы, суффляры, техногенные землетрясения и др.

Породы каждой стадии и подстадии литогенеза характеризуются своими свойствами – прочностью, коллекторскими свойствами, влажностью, газоносностью и др. Системы крепления, отработки, проветривания и ряд других параметров зависят от свойств пород и процессов, происходящих в них. Прогнозирование строительства, систем отработки, крепления, дегазации и других параметров необходимо выполнять с учетом свойств полезных ископаемых и вмещающих пород.

Ключевые слова: стадии литогенеза, геологические процессы, седиментогенез, диагенез, катагенез.

Введение. При подготовке данного материала возникли терминологические проблемы определения различных видов геологических процессов. Например – суффозия – вымывание, выщелачивание легкорастворимых минералов осадочных пород, в большей степени это природное изменение является следствием физико-химических процессов. Необходимо было определиться, как правильно называть это геологическое изменение. В.Ю. Забродин (1981), один из теоретиков геологии, взял за основу понятие деформации, как сквозной параметр, отражающий тектонические изменения на Земле, на разных иерархических уровнях, от микро- до макро- и мегауровня.

Данная схема построения тектонических преобразований земной коры позволила исследователю формализовать различные типы тектонических проявлений в породах разных иерархических уровней.

Цель работы. Горнодобывающая отрасль базируется на геологических исследованиях фактически на всех этапах ее развития – от сооружения горного предприятия, до его ликвидации и решения экологических проблем. Поэтому целью данной публикации является разработка комплекса характеристик распространенных геологических процессов в отложениях разных стадий и подстадий катагенеза, для последующего прогноза основных свойств и состояния этих пород, оптимизации работы горных предприятий и повышение безопасности отработки полезных ископаемых.

Основная часть. Осадочные породы состоят из терригенных, хемогенных, вулканогенно-осадочных и смешанных отложений.

Терригенные отложения начинают формироваться, когда часть минерала или породы отделяется от кристаллического или осадочного массива в процессе денудации и разрушения его обычно при положительных вертикальных перемещениях. Последующие перемещения образованных обломков происходят под действием воды, ветра, льда и атмосферных осадков.

Стадия седиментогенеза включает формирование осадка, перенос его и отложение в конечном месте захоронения. К терригенным отложениям относятся аллювий (речные отложения), элювий (отложения ветра, пыльных бурь), пролювий (отложения временных потоков), коллювий (отложения под действием силы тяжести – осыпи), делювий (продукты смыва талыми и паводковыми водами).

К хемогенным отложениям относятся карбонаты, соли, гипсовые породы, сера и их сочетание.

Вулканогенно-осадочные образования представлены пеплом, пемзой, продуктами выбросов при эксплозии и образовавшимися в результате механического разрушения вулканических пород. Для них не характерна слоистая текстура, являющаяся отличительным признаком осадков вообще.

К смешанным отложениям относятся породы разного состава, перечисленных выше типов. Их свойства зависят от состава, структурных параметров и условий в которых они образовались – климата, влажности, температуры, кислотности или щелочности вод.

Некоторые исследователи выделяют отдельным классом органогенные породы – угли, сапропелиты и их разновидности, серу органогенную, озокериты, асфальты и другие подобные породы.

При горизонтальном залегании (или близком к нему) может формироваться элювий – кора выветривания кристаллических пород, представляющая собой, дресву, щебень, обломки отложений разной величины. Первичные коры выветривания не проходят стадию смыва и переноса, а остаются на месте и покрываются другими осадочными породами. Вторичные коры выветривания проходят стадию переноса и откладываются на каком-то удалении от материнских пород.

В соответствии с Геологическим словарём (1978) и Горной энциклопедией (1984), рыхлые терригенные осадочные континентальные отложения, залегающие на поверхности, относятся к породам стадии седиментогенеза и для них характерны следующие процессы: *размыв, обрушение (обвал, осыпь), сель, пал, лавина, оползень, суффозия, выходы горящего газа, бури (ураганы, торнадо), ледники, паводки, зыбучие пески, тиксотропия, торфогенез, сапропелегенез, галогенез, сероводородное заражение, обводнение*.

Морские и океанские отложения имеют значительные мощности только на шельфе, в районах конусов выноса больших рек. Процессы формирования и трансформации пород стадии седиментогенеза, приводящие к разным типам деформаций, имеют следующие краткие характеристики.

Размыв – процесс разрушения и перемещения продуктов разрушения водой, ледниками, ветром, атмосферными осадками. Размывы бывают наземными и подводными. Если размываются кристаллические породы береговой части, это называется абразией. Размыв осадочных береговых отложений можно отнести к частному случаю абразии. Основным принцип размыва – перепады высот. Чем больше такие перепады, тем интенсивнее происходит процесс размыва и переотложения пород.

Обрушение (обвал, осыпь) – процесс гравитационного перемещения пород крутого склона, без участия воды, происходящий в результате выветривания, эрозии, абразии у основания крутого склона, когда угол падения пород больше угла естественного откоса.

Сель – процесс формирования кратковременного грязевого или грязекаменного потока, в результате ливней, быстрого таяния снега или ледников, обычно в горах или предгорных районах.

Пал – процесс горения растений в лесах, торфяников, травы в степях, в результате чего наносится существенный вред флоре и фауне в районах таких пожаров. Выгорание торфяников может приводить к провалам и гибели в этих местах людей, техники, животных.

Лавина – процесс внезапного перемещения снежной массы вниз. Вместе с предлавиной воздушной волной, приводит к существенным разрушениям построек и горных пород на своем пути.

Оползень – процесс перемещения рыхлых осадков под действием гравитационных сил, повышения обводненности, потери упора и других факторов. Оползни бывают асеквентные (по цилиндрической поверхности), донные (подводные), одно- и многоярусные, пластичные (характерные для глин), поверхностные (оплывина), подводные, режущие (срезают разные слои пород), структурные (смещение блоков или систем блоков), суффозионные (в результате подмыва пород подземными водами).

Суффозия – процесс выщелачивания растворимых солей почвы или подпочвенных грунтов, что приводит к просадке вышележащей толщи пород на сантиметры, первые метры, на площади от десятков, до сотен и даже тысяч метров.

Факелы (выходы горящего газа, свищи) – процесс перехода газа из связанного состояния в свободное, с выходом на поверхность и загоранием. Такие процессы происходят в морях при разложении газогидратов на газ и воду, при таянии льда на болотах. По мнению ученых, в атмосферу планеты только со дна озер Сибири может попасть 55 млрд. т метана – в 10 раз больше, чем содержится сегодня в воздушном пространстве Земли. Выход такого огромного объема газа способен спровоцировать резкие и, вероятно, необратимые, изменения климата [1].

Бури (ураганы, торнадо) – процессы быстрого перемещения воздушных масс, обусловленные перепадом давлений на разных участках суши, приводящие к значительным разрушениям. Пыльные бури, характерные для условий Африки и Азии, могут перемещать большие массы мелких частиц – песчинок, глинистых частиц, обломков. Морфология поверхности северной Африки изменилась от влияния таких бурь. Реки, города, леса и озера занесены песком и цветущая некогда земля превратилась в пустыню.

Ледники – процесс формирования и перемещения ледников, разрушающих все на своем пути, делится на глобальные (периодические оледенения значительных участков суши) и локальные (расположенные обычно в горах). Последнее глобальное оледенение (Днепровское) закончилось около 11 тысяч лет назад, а южная кромка ледника достигала широты Днепропетровска.

Паводок – процесс весеннего разлива талых вод на прилегающих территориях, называемых плавнями. В плавнях обычно не строят капитальных сооружений. Бывают периодические наводнения рек в разное время года, от которых страдают ближайшие населенные пункты, инфраструктура и сооружения.

Зыбучие пески – процесс формирования высокопористых участков песка, куда как в болото может попасть человек, животное, транспорт и утонуть в нем.

Тиксотропия – процесс перехода коллоидных застывших пород типа – геля, в квазижидкое состояние (золь) при механическом воздействии на него. Такие переходы из одного состояния в другое могут происходить много раз. Тиксотропия характерна для пльвунов, распространенных в разных районах Сибири. Выполнять любые работы на таких участках сложно и опасно.

Торфогенез – процесс образования торфа в болоте из растительной органики. При высыхании торфяников начинается процесс окисления, переходящий в тление и горение. Для профилактики соответствующие службы поддерживают необходимую влажность торфяников, чтобы избежать горения.

Сапротелегенез – процесс формирования ила из микроорганизмов с примесью органики. Сапропель (гнилой ил), после окончания его образования и перехода в сапропелит, может использоваться как ценное полезное ископаемое, для получения газа, нефтепродуктов и других полезных компонентов. Он является пожароопасным. Устаревшее и неправильное название сапропелита – сланец.

Галогенез – процесс образования отложений соли, происходит и в настоящее время в засушливых районах. При засолонении почвы она теряет

свойство плодородия. В некоторых соляных шахтах происходят выбросы соли – газодинамические явления, которые нарушают системы крепления, портят оборудование, могут привести к гибели рабочих.

Сероводородное заражение – процесс образования значительных объемов сероводорода, самого ядовитого природного газа. Общеизвестно такое заражение Черного моря ниже определенной глубины, которое произошло вследствие прорыва соленых морских вод в пресное озеро, которым было когда-то это море. Гибель озерной фауны привела к такому процессу. Он в разной степени развит в болотах и в местах гниения органики и организмов.

Обводнение (осушение) – процесс изменения внешних условий, который приводит к формированию болот, речных систем или противоположных – пустынь. Могут быть быстрые процессы, называемые наводнением – происходящие в результате сильных ливней, быстрого таяния льда и снега.

Рыхлые терригенные осадочные континентальные отложения, залегающие под слоем пород иного состава или под несколькими слоями, относятся к породам **стадии диагенеза** и для них характерны следующие процессы: *размыв, провал, суффозия, просадка лёсса, обводнение, плывуны, взрывы газа, карстообразование и др.*

Процессы, приводящие к деформациям пород на стадии диагенеза, имеют следующие краткие характеристики.

Размыв – процесс разрушения и перемещения продуктов разрушения водой, ледниками, ветром, атмосферными осадками. Отличие от процесса стадии седиментогенеза в том, что он может происходить в разных осадочных (и не только) породах, близких к поверхности. Характерные места проявления – берега рек, озер, морей, ущелья, балки, предгорья и другие участки резкого перепада отметок высот, где обнажаются породы диагенеза. Пример молодой балки с углами откоса около 45^0 и глубиной 5-7 м в пригороде г. Днепр, представлен на рис. 1. В отложениях этой стадии уже могут появляться литифицированные слои и прослои, при наличии соответствующего цемента (карбонатного, кварцевого, гидроокислов железа). Пример литифицированного песчаника, сцементированного гидроокислами железа, приведен на рис. 2.

Провал – процесс формирования участка поверхности с отрицательным рельефом, в результате вымывания, частичного растворения и выноса части пород. Провалы бывают вулканические, карстовые, в зонах выгорания торфа, техногенные. Техногенные провалы формируются в зонах добычи руд, соли, углей и других полезных ископаемых. Пример техногенного провала над отработанной железорудной шахтой приведен на рис. 3.

Суффозия – процесс выщелачивания и выноса растворимых минералов в осадочных породах стадии диагенеза на глубинах от первых метров до десятков и сотен метров, что приводит к образованию пещер, провалов.

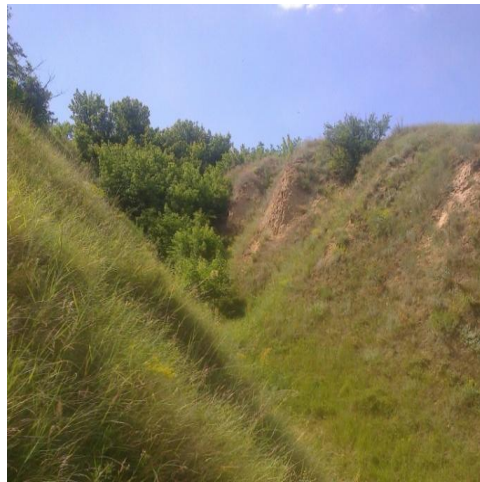


Рисунок 1 – Молодая балка, оперяющая балку «Сажевка», с углами откоса около 45° , в пригороде г. Днепр



Рисунок 2 – Борт песчаного карьера в Днепропетровской области с прослоем диагенетического песчаника, сцементированного гидроокислами железа, мощностью 1-3 м

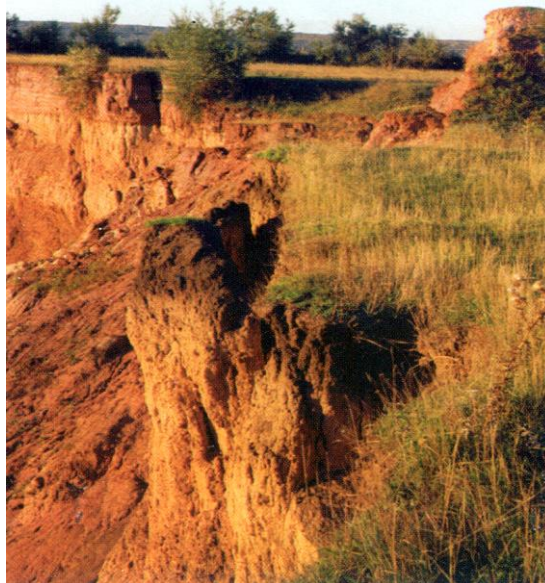


Рисунок 3 – Фрагмент северной части провала шх. «Гвардейская», Кривой Рог [2]. Хорошо видна граница седиментационного верхнего слоя и диагенетического слоя супеси более светлого цвета

Просадка лёсса – процесс уплотнения лёссовых пород под действием их обводнения. Приводит к возникновению провалов и разрушению сооружений, находящихся на поверхности. Примером может служить просадка нескольких зданий на жилом массиве Тополь в г. Днепропетровске, в 2009 г.

Обводнение – процесс повышения подземного уровня грунтовых вод по разным причинам (постройка плотин, строительство гидротехнических сооружений, нарушение герметичности канализации), приводящая к растворению и выносу части минералов и пород, что может быть причиной просадок, провалов.

Плывун – процесс формирования участков обводненных пород песчано-глинистого состава, которые при вскрытии этого участка могут приводить к затоплению горных выработок (тоннелей метро, шахтных и рудничных выработок).

Взрыв газа – процесс резкого окисления метана (метана, сероводорода и др.), сопровождающийся формированием взрывной волны, несущей разрушение в окружающем пространстве. Метан с атмосферным воздухом (от 5 до 15 % метана) создает взрывоопасную смесь и при наличии источника открытого огня, может произойти взрыв. Взрывоопасная смесь может накапливаться в шахтах, карьерах, подвалах. Примером могут служить взрывы в подвалах, коллекторах и подобных местах в населенных пунктах Донбасса, взрывы на кимберлитовых карьерах.

Карстообразование – процесс растворения и выноса карбонатных (соленосных, гипсовых, ангидритовых) пород с образованием пустот разного размера. В Украине находится вторая в Мире по длине пещера Озерная в Тернопольской области, в гипсовых отложениях. Ее длина около 200 км.

Рыхлые диагенетические отложения сменяют литифицированные осадочные породы трех подстадий катагенеза, имеющие существенные мощности и достаточно жесткие условия преобразования. Если стадия диагенеза заканчивается температурами 60-70⁰С, то подстадия раннего катагенеза заканчивается температурой 100-110⁰С. Бурые угли стадии диагенеза переходят в каменные, марки Д, ДГ, Г. Глины трансформируются в аргиллиты, пески в песчаники, мел и другие карбонаты в известняки.

В отложениях подстадии **раннего катагенеза** добывают различные полезные ископаемые – угли, углеводороды, соль, серу, доломиты и др.

Для отложений подстадии раннего катагенеза характерны следующие процессы, приводящие к деформациям: *динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, вывалы, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суфляры, плывуны, карстообразование, врыв пыли, выброс соли и др.).*

Взрыв газа – процесс резкого окисления метана, сопровождающийся формированием взрывной волны, несущей разрушение в окружающем пространстве. Смесь метана с воздухом взрывается при содержании метана от 5 до 16 %. Взрыв наибольшей силы происходит при содержании метана около 9,5 %. Воспламенение метано-воздушной смеси происходит при температуре

650-750⁰С. Температура продуктов взрыва достигает 2000-2500⁰С, давление в шахтных условиях – десятки атмосфер (Справочник «Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа», под ред В.Н. Потураева, 1986).

Динамические явления в горных выработках и забоях разного назначения - процессы выдавливания, обрушения, отжима, вывалы и другие, отличаются от газодинамических отсутствием газа. Из приведенных процессов наиболее распространенным является обрушение так называемой ложной кровли. Для прогнозирования подобных явлений на шахтах строят карты распространения ложной кровли.

Выдавливание пород – процесс повышения пластичности глинистых пород под действием воды, увеличение их объема, что приводит к потере устойчивости выработки, ее сжатие, смыкание. Для восстановления просвета выработки необходимы дополнительные работы, что приводит к удорожанию стоимости полезного ископаемого или стоимости выработки.

Суфляр – процесс истечения газа из вскрытой системы трещин в горной выработке. Для угольных шахт это обычно метан, в других выработках, при прохождении тоннелей в горах и т.д. суфляр может быть из углекислого газа с примесями. В любом случае, такие явления представляют опасность для рабочих в горных выработках и работы до прекращения выделения газа не проводятся.

Плывун – процесс заполнения горной выработки водно-породной пульпой, вскрытой забоем. Это явление представляет опасность для горняков, работающих возле забоя. Такие явления отмечены при проведении горных выработок для метро в г. Днепропетровске, Ленинграде, на рудниках марганца возле одноименного города. Плывун может быть жидким или грязевым, а может быть газожидким. Газожидкие пливуны встречаются в угольных шахтах на ранней подстадии катагенеза.

Карстообразование – процесс растворения и выноса карбонатных (соленосных, гипсовых, ангидритовых) пород с образованием пустот разного размера. Этот процесс отмечается не только в слабосвязанных породах диагенеза, но в породах раннего катагенеза. Особенность карста в том, что он формирует многоэтажные пустоты, которые прослеживаются на разных горизонтах. Они могут быть сухими и обводненными, но их наличие необходимо учитывать при любых строительных работах.

Взрыв пыли – процесс формирования смеси пыли с воздухом, способной загораться при тепловом и ударно-волновом воздействии. Взрывчатая пыль образуется из углей всех марок (кроме антрацитов), сапропелитов, серы и ее соединений, древесной пыли, сажи и некоторых других веществ. Степень взрывчатости пыли зависит от дисперсности, состава, влажности, содержания золы, выделения летучих при нагреве и других свойств. Наиболее взрывоопасная фракция пыли – менее 0,075 мм. Максимальный размер частиц выбросоопасной пыли – 0,75-1 мм. Угольная пыль перестает взрываться при выходе летучих компонентов менее 6 %. Предельное значение зольности для угольной пыли – 86-88 %. Температура взрыва угольной пыли – 575-850⁰С.

Нижняя концентрация взрываемости пыли изменяется от 12 до 45 г/м³. При содержании в шахтной атмосфере 1 % метана снижается до 6-23 г/м³. Максимальный эффект взрывчатости достигается при содержании в 1м³ воздуха 300-400 г/м³ угольной пыли, дальнейшее увеличение концентрации до 900-1000 г/м³ взрывчатости существенно не увеличивает. Верхняя концентрация взрываемости пыли – 2000-3000 г/м³, выше нее пыль не способна взрываться. Причины этого до конца не выяснены. Опасна не только витающая пыль, но и осевшая на поверхности в горных выработках (Справочник «Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа», под ред. В.Н. Потураева, 1986).

Выброс соли – процесс динамического разрушения газонасыщенной соли, с выносом ее в горные выработки. Это техногенное явление вызывается чаще взрывными работами, но может происходить при механической отработке полезного ископаемого и даже при работе отбойного молотка (И.И. Медведев, Г.Д. Полянина, 1974).

Приуроченность солевых отложений к определенной стадии литогенеза носит гипотетический характер, поскольку работ в этом направлении недостаточно. Из приведенного материала можно сделать такие предварительные выводы. Палеоглубина формирования солевых пород недостаточно исследована. Современная глубина соленосных шахт составляет, в среднем от 200-300 м до 500-600 м. Выбросы соли произошли на глубинах около 500 м, то есть ниже зоны газового выветривания. Стадии, на которых эти породы находятся, соответствуют диагенезу и подстадии раннего катагенеза [3].

Подстадия **среднего катагенеза** характеризуется температурами примерно от 100-110⁰С до 150-160⁰С. Включает угли марок Г, Ж, К, ОС. Причем угли марок Г и ОС являются граничными. Литостатическое давление на этой подстадии достигает 40-60 МПа, а палеоглубины составляли 2-3 км. Характерной особенностью средней подстадии является возникновение в песчаниках и угольных пластах таких явлений как выбросоопасность, горные удары [4,5].

В отложениях подстадии среднего катагенеза добывают такие полезные ископаемые как уголь, углеводороды (М.Л. Озерская, Н.В. Подоба, 1967) медь, полиметаллы, киноварь и др.

Для отложений подстадии среднего катагенеза характерны следующие процессы, приводящие к деформациям: *динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, выбросы угля, пород и газа, горные удары, вывалы, отжимы, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суффляры, плывуны и др.).*

К динамическим явлениям подстадии раннего катагенеза на подстадии среднего катагенеза добавляются **газодинамические явления** – взрывы, выбросы углей, пород и газа. Они отличаются интенсивностью, формами проявления. Для их выделения существуют различные инструкции, которые периодически обновляются. С ростом глубины выработок появляются новые

виды и подвиды газодинамических явлений, они нуждаются в исследовании и выработке прогнозных признаков и противовыбросных мероприятий. Для уменьшения и ликвидации таких явлений существует одна главная проблема – дегазация массива горных пород, в которых выполняются горные работы. Дегазация массива приводит к уменьшению давления и существенно снижает или убирает фактор выбросоопасности, поскольку без газа, выброса или взрыва не будет.

Внезапный выброс – самопроизвольный выброс газа, твёрдого полезного ископаемого (уголь, соль) или вмещающей породы в подземную горную выработку из забоя или призабойной зоны массива; продолжительность внезапного выброса – до нескольких секунд (Геологическая энциклопедия, 1978).

С таким определением трудно согласиться, поскольку сами по себе выбросы не происходят. Если бы не было горной выработки, нарушающей условия залегания пород и полезного ископаемого, никаких выбросов не было бы. Внезапный выброс – процесс разгрузки газосодержащей породы или полезного ископаемого с выносом его в выработки и образованием полости выброса, инициированный взрывными или другими горными работами.

Выбросы вулканические, интрателлурические – процессы динамического выноса рыхлых, плотных, пепловых, жидких, газовых материалов на поверхность через жерла вулканов, кимберлитовые трубки, разломы в земной коре. По происхождению материала различают выбросы аутигенные (собственно вулканический расплавленный материал) и аллотигенные (обломки пород, оторванных от стенок выводного канала и вулканической камеры). Вулканические выбросы, состоящие преимущественно из обломков старой лавы и чуждых вулкану пород, называются взрывными обломками (эксплозия – взрыв). Поскольку вулканы расположены в основном, в осадочных бассейнах и трансляционно рассекают все вышележащие породы, они выносят вместе с магматическим расплавом и вмещающий материал, в том числе отложения всех стадий литогенеза (аллотигенный выброс).

Горный удар – процесс схлопывания части горной выработки под действием аномально высокого горного давления, превышающего прочностные свойства крепи. Данный процесс обычно протекает без существенных выделений газа и приурочен к нарушенным зонам, где возникают аномально высокие напряжения сжатия и сдвига. Сдвиговые напряжения самые опасные для подземных выработок, поскольку на узком участке массива концентрируются огромные напряжения, превышающие пределы прочности применяемой крепи. Одно из условий предотвращения проявлений горных ударов – отрабатывать угольные пласты (или рудные, нерудные, в рудниках) в разное время и в разных местах. Иными словами, нельзя допускать в пространстве синхронизации забоев на разных горизонтах. Если это происходит, перепад напряжений увеличивается, и сдвиговые усилия могут превысить предел прочности крепи на разрыв. Особенно это касается

сближенных пластов, между которыми десятки метров и сдвиговые напряжения могут складываться и приводить к возникновению горных ударов.

В настоящее время наиболее эффективными мероприятиями по предупреждению горных ударов и внезапных выбросов являются «классические» региональные меры, такие как защитная наработка или подработка, однако, данные меры не позволяют обеспечить защиту при отработке свит пластов на участках, прилегающих к геологическим нарушениям или в зонах повышенного горного давления.

Динамические явления - вывалы, обрушения, выдавливание, отжимы – процессы разрушения полезного ископаемого и вмещающих пород при под- и наработке полезных ископаемых пластового типа. Указанные явления относятся к техногенным, поскольку без проведения горных выработок они бы не проявлялись. Основа данных техногенных явлений в гравитации и свойствах пород. Обрушение ложной кровли происходит, в основном, из-за слабого сцепления разных типов пород. Например, слой аргиллита и песчаника, известняка и песчаника, угля и песчаника. Иными словами, чем больше перепад в свойствах пород, тем хуже их сцепление и больше вероятность их разрушения именно на стыке слоев. Породы близкие по своим свойствам, такие как угли – аргиллит, аргиллит – алевролит, аргиллит – известняк, будут расслаиваться в меньшей степени.

Зачастую **вывалы, обрушения** и другие подобные явления в забоях горных выработок происходят в местах развития нарушений. Как указывал В.Ю. Забродин (1981), реальные нарушения представляют собой некоторые *тела*, которые занимают участок трехмерного пространства, т.е. являются объемными. Между тем, как правило, нарушения описываются и исследуются прежде всего, как некоторые геологические *границы*, представляемые в виде поверхности (т.е. двумерного многообразия в трехмерном пространстве). При этом исследователи абстрагируются от того, что нарушения имеют ширину (мощность). В зоне нарушений формируются квазикристаллы (отдельность, блочность) различных размеров, которые при подработке легко отделяются от массива и обрушаются вниз, следуя земной гравитации. Таким образом, нарушенные зоны в горных породах инициируют не только суфляры, выбросы, горные удары, но и множество подвидов динамических явлений – вывалы, обрушения, разломы, выдавливание, отжимы и другие.

Выдавливание – процесс увеличения объема и пластичности пород, происходит обычно из почвы выработок, вследствие размокания пород призабойной, наиболее обводненной части горной выработки. Аргиллиты, часто залегающие в почве, при намокании частично пластифицируются, что и приводит к выдавливанию. В отложениях ранней подстадии катагенеза это происходит повсеместно. В отложениях средней подстадии, процесс выдавливания затухает и к грациям средней подстадии катагенеза МК₄ – МК₅ (угли марок К, ОС), его влияние существенно уменьшается, в сравнении с подстадией раннего катагенеза.

В работе [6] сказано, что одним из наиболее опасных регионов, по данным ВНИМИ, является Кузбасс, на угольных и рудных шахтах которого в период с 1943 по 2005 гг. зарегистрировано 5470 динамических и газодинамических явления, в том числе: 207 внезапных выбросов, 222 горных и горно-тектонических удара, 42 микроудара, 3599 толчков и более 1400 стрельаний.

Подстадия **позднего катагенеза** характеризуется температурами примерно от 150-160⁰С до 280-300⁰С. Включает угли марок ОС, Т, А. Причем уголь марки ОС является граничным. Литостатическое давление на этой подстадии достигает 140-160 МПа, а палеоглубины составляли 7-8 км, возможно и более.

Для отложений подстадии позднего катагенеза характерны следующие процессы, приводящие к деформациям: *динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, выбросы угля и газа, вывалы, суфляры, техногенные землетрясения).*

В отложениях подстадии позднего катагенеза добывают такие полезные ископаемые как уголь, полиметаллы, медь, киноварь и др.

Характерной особенностью поздней подстадии катагенеза является отсутствие в песчаниках выбросоопасности. В угольных пластах такое явление как выбросоопасность, исчезает только в суперантрацитах, газоносность которых резко уменьшается с 35-45 м/т с.б.м., до 1-5 м/т с.б.м. и иногда, практически до нуля. Причина такого явления в литературе однозначно не указана, а дегазация или деметанизация суперантрацитов (градация АК₄ – позднего катагенеза) вызывает много вопросов. В частности, если в антрацитах метаноносность достигает 40-45 м/т с.б.м., то куда и почему исчезает метан в суперантрацитах, залегающих стратиграфически ниже?

В Каталоге метаноносности основных угольных пластов в границах действующих шахт Донецкого бассейна (1987), указано, что суперантрациты характеризующиеся величиной логарифма удельного электросопротивления ($lg\rho$), равной 2,5 и менее, независимо от глубины их залегания, обладают низкой метаноносностью (близкой к нулю). По этой причине они являются неметаноносными и невыбросоопасными.

На поздней подстадии катагенеза фактически отсутствуют пливуны, да и влажность в породах этой подстадии существенно меньше, чем на ранней и средней подстадиях. Горные удары также не характерны, по меньшей мере, при ведении горных работ. Это объясняется постоянным изменением структуры пород, минералогических характеристик, приводящих породу в другое состояние, с большей прочностью, меньшей пористостью, проницаемостью. Иными словами, на всех подстадиях катагенеза происходит постоянная перестройка вещества всех пород, названная структурированием [7].

Для поздней подстадии катагенеза новым является формирование в этих отложениях техногенных землетрясений [8]. Причина этому очевидна – структурно-минералогические параметры и свойства осадочных пород этого этапа литогенеза достаточно близко подошли к метаморфическим породам, которые в геологии называются кристаллическими.

Техногенное землетрясение – процесс динамического обрушения пород в горных выработках в зонах тектонических нарушений, после окончания добычных работ. Техногенная тектоническая активность проявляется в виде техногенных землетрясений или горных ударов после достижения породами, оставшейся крепью, предела прочности на сжатие.

Такие явления установлены Управлением МЧС в Луганской области в районе населенных пунктов: г. Ровеньки, с. Новодарьевка, с. Калиновка, в районе полей шахт №5 «Дарьевская», №81 «Киевская». Интенсивность землетрясений составила 5-6 баллов, в соответствии с действующей макросейсмической шкалой МСК – 64. В указанных населенных пунктах отмечены сейсмические повреждения – появление трещин в стенах, разрушение стекол и другие характерные повреждения.

Указанное явление характерно для отложений подстадии позднего катагенеза, поскольку степень структурных и минералогических преобразований осадочных пород достаточно высока. Если для подстадии раннего катагенеза в большей степени характерны пластические деформации (уплотнение пород), подстадии среднего катагенеза – упруго-пластические (уплотнение и структурно-минералогические преобразования) то для подстадии позднего катагенеза, в большей степени, характерны упругие и хрупкие деформации (структурно-минералогические преобразования).

Суфляры – процесс динамического истечения газа из вскрытой горными работами нарушенной зоны. Для поздней подстадии катагенеза суфляры характерны из угольных пластов, поскольку пористость пород достаточно низкая. Исключение могут составлять большие нарушенные зоны, секущие как угольные, так и породные пласты.

В таблице 1 приведена классификация основных процессов формирования деформаций в осадочных породах на разных стадиях и подстадиях литогенеза.

Выводы. На основе обработки литературных и экспериментальных материалов были исследованы различные типы деформаций в осадочных породах разных стадий и подстадий литогенеза. Установлено закономерное изменение деформационных свойств от одной стадии к другой. Выявлено наличие специфических процессов деформирования пород для определённой подстадии или стадии литогенеза, а также, процессов деформации, переходящих на другую стадию. Установлено, что процесс формирования нарушенных зон прослеживается на всех стадиях литогенеза, кроме седиментогенеза. Процесс формирования выбросоопасности песчаников характерен только для подстадии среднего катагенеза. На подстадии позднего катагенеза появляются процессы формирования техногенных землетрясений, достигающих 4-5 баллов в прилегающих районах. Каждая стадия или подстадия литогенеза обладает своим специфическим набором типов деформаций, которые изменяются на других этапах преобразования.

Таблица 1 – Классификация основных процессов (P , t^0C) формирования деформаций в осадочных породах

Типы пород и процессов в них		Типы пород и процессов в них		
Рыхлые породы – стадий седиментогенеза и диагенеза		Литифицированные породы – подстадии катагенеза		
Седиментогенез	Диагенез	Ранняя	Средняя	Поздняя
Следствия сочетания и результаты различных процессов				
Размыв, обрушение (обвал, осыпь), сель, пал, лавина, оползень, суффозия, факелы (выходы горящего газа, свищи), бури (ураганы, торнадо), ледники, паводки, зыбучие пески, тиксотропия, торфогенез, сапропелогенез, галогенез, сероводородное заражение, обводнение (осушение)	Размыв, провал, суффозия, просадка лесса, обводнение, пливуны, взрывы газа, карстование, вечная мерзлота	Динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, вывалы, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суффляры пливуны), карстообразование	Динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, выбросы угля, пород и газа, горные удары, вывалы, обрушение ложной кровли, выдавливание пород, суффляры, пливуны)	Динамические и газодинамические явления в рудниках и шахтах (взрывы газа, выбросы угля и газа, вывалы пород, суффляры, техногенные землетрясения)

Таким образом, имея своеобразный алгоритм формирования процессов деформирования осадочных горных пород на разных стадиях преобразования отложений, можно прогнозировать появление определенных типов деформаций на разных глубинах и палеоглубинах и использовать эти данные при строительстве горных предприятий, добыче полезных ископаемых, решении экологических, экономических, горно-технологических проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов В.А., Хоменко Ю.Т. Оценка газоносности угольных месторождений, ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2015, 163 с.
2. Малахов І.М. Техногенез у геологічному середовищі, Кривий Ріг: ОКТАН-ПРИНТ, 2003, 252 с.
3. Лаптев Б.В. Историография аварий при разработке соляных месторождений, Безопасность труда в промышленности, 2011, № 12, С. 41-46.
4. Баранов В.А. Новый показатель степени катагенеза углеводородных пород Донбасса, Геотехническая механика: межвед. сб. научн. тр., Днепропетровск, 1998, Вып. 5, С.138-143.
5. Пат. №31482 А, МПК Е 21С 39/00 Спосіб встановлення ступеню катагенезу порід / В.А. Баранов; заявник і патентовласник ІГТМ НАН України. – № 98094842; заявл. 15.09.1998; опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-11.
6. Вернигор В.М., Кульчицкий В.Б., Кульчицкий С.В. Предупреждение горных ударов и внезапных выбросов в горнодобывающей промышленности, Горная Промышленность, 2006, №4., С. 4-8.
7. Баранов В.А. Односторонняя (направленная) изотропия в горных породах, как следствие структурирования неравновесных систем, Высокоэнергетическая обработка материалов: Материалы конференции, Днепропетровск: НГАУ, 1997, С. 138-141.
8. Сергієнко Р.М. Активізація геодинамічних процесів в породах середнього карбону східної частини Донбасу при закритті вугільних шахт: автореф. дис....канд. геол. наук: 04.00.16, Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2012, 19 с.

REFERENCES

1. Baranov, V.A. and Khomenko, Yu.T. (2015), *Otsenka gazonosnosti ugolnykh mestorozhdeniy* [Estimation of gas-bearing coal deposits], National mining university, Dnepropetrovsk, Ukraine.

2. Malakhov, I.M. (2003), *Tekhnogenez v geologichnomy seredovyskhi* [Technogenesis in geological medium], OKTAN-PRINT, Kriviy Rig, Ukraine.
3. Laptev, B.V. (2011), "Historiography of accidents in the development of salt deposits", *Work Safety in Industry*, no. 12, pp. 41-46.
4. Baranov, V.A. (1998), "New indicator of carbon-bearing rock catagenesis of the Donbass", *Geo-Technical Mechanics*, no. 5, pp. 138-143.
5. Baranov, V.A., M.S. Poljakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine (2000), *Sposib vstanovlenya stypenyi katagenezu porid* [Method of determining the degree of catagenesis of rocks], State Register of Patents of Ukraine, Kiev, UA, Pat. № 31482.
6. Vernigor, V.M., Kylchitskiy, V.B. and Kylchitskiy, S.V. (2006), "Prevention of rock bursts and sudden outbursts in the mining industry", *Mining Industry*, no. 4, pp.4-8.
7. Baranov, V.A. (1997), "Unilateral (directed) isotropy in rocks, as a result of the structuring of non-equilibrium systems", *Proc. of the scientific conference "High energy materials processing"*, National Mining academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, pp. 138-141.
8. Sergienko, R.M. (2012), Activation of geodynamic processes in the middle carbon rocks of the eastern part of the Donbas at closing of coal mines, Abstract of Ph.D. dissertation, Hard fuel minerals geology, National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Баранов Владимир Андреевич, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией исследования структурных изменений горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, andreevich7526@i.ua

Кириченко Виктория Анатольевна, магистр, главный геолог отдела антропогенных изменений геологической среды, Институт проблем природопользования и экологии Национальной академии наук Украины (ИППЭ НАНУ), Днепр, Украина, yakirichenko62@ukr.net

Антипович Яна Валентиновна, магистр, младший научный сотрудник лаборатории исследования структурных изменений горных пород, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина, Yana_Atipovich@ukr.net

About the authors

Baranov Vladimir Andreevich, Doctor of Geological Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Researches of the Structural Changes in the Rock, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, andreevich7526@i.ua

Kirichenko Viktoria Anatolyevna, Master of Science, Chief Geologist, Department of Anthropogenic Changes in the Geological Environment, Institute for Problems of Nature Conservation and Ecology of the National Academy of Sciences of Ukraine (IEPA NASU), Dnipro, Ukraine, yakirichenko62@ukr.net

Antipovich Yana Valentinovna, Master of Science, Junior Researcher of the Laboratory of Researches of the Structural Changes in the Rock, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnipro, Ukraine, yana_atipovich@ukr.net

Анотація. У статті наведені основні геологічні процеси, що відбуваються на різних стадіях і підстадіях літогенезу. Врахування властивостей і стану гірських порід на гірничих підприємствах є актуальною науковою і прикладною проблемою. На теперішній час виділено три основних стадії літогенезу - седиментогенез, діагенез і катагенез. У кожній із стадій літогенезу відбуваються тільки їй властиві геологічні процеси. Інформація про те, у відкладеннях якої стадії літогенезу виконуються гірничі роботи, дає можливість прогнозувати властивості гірських порід. Властивості гірських порід потрібно знати для вибору оптимальних схем відпрацювання корисних копалин. Гірничі роботи кожного гірничого підприємства мають свої особливості. Безпека і ефективність роботи гірничого підприємства залежить від правильного прогнозу геологічних процесів. Для стадії седиментогенезу характерні такі геологічні процеси як обвалення, зсуви, суфозія, паводки, обводнення та ін. Для стадії діагенезу характерними є розмиви, провали, просадка, пливуні, вибухи газу, карстоутворення та ін. Стадія катагенезу ділиться на три підстадії - ранню, середню і пізню. Для всіх трьох підстадій катагенезу характерними є динамічні і газодинамічні явища в рудниках і шахтах. Для ранньої підстадії катагенезу такими є вибухи газу, обвалення псевдопокрівлі, видавлювання порід, суфляри, пливуні та ін. Для середньої підстадії катагенезу характерними є вибухи газу, викиди вугілля, порід і газу, гірські удари, вивали, віджим породи, обвалення псевдопокрівлі, видавлювання порід, суфляри, пливуні та ін. Для пізньої підстадії катагенезу характерні такі динамічні і газодинамічні явища як вибухи газу, викиди вугілля і газу, вивали, суфляри, техногенні землетруси та ін.

Породи кожної стадії і підстадії літогенезу характеризуються своїми властивостями - міцністю, колекторськими властивостями, вологістю, газоносністю та ін. Системи кріплення, відпрацювання, провітрювання і ряд інших параметрів залежать від властивостей порід і процесів, що відбуваються в них. Прогнозування будівництва, систем відпрацювання, кріплення, дегазації і інших параметрів необхідно виконувати з урахуванням властивостей корисних копалин і порід, що їх вміщують.

Ключові слова: стадії літогенезу, геологічні процеси, седиментогенез, діагенез, катагенез.

Annotation. The main geological processes occurring at different stages and substages of lithogenesis are described in this article. Consideration of the properties and conditions of rocks at mining enterprises is an actual scientific and applied problem. Currently, there are three main stages of lithogenesis - sedimentogenesis, diagenesis and catagenesis. In each of the stages of lithogenesis, only its inherent geological processes occur. Information about to which stage of lithogenesis the bedding, where mining operations take place, refer allows predicting properties of rocks. The properties of rocks needed to be known in order to choose optimal schemes for mining operations. Mining works in each mining workings have their own specificity. The safety and efficiency of the mining enterprise depends on the correct prediction of geological processes. The stage of sedimentogenesis is characterized by such geological processes as rock fall, landslides, suffusion, floods, watering, etc. For the stage of diagenesis, the typical are erosion, sinkhole, subsidence, flooding, gas explosions, karst formation, etc. Dynamic and gas-dynamic phenomena in mines are characteristic of all three substages of catagenesis. The early substage of catagenesis is characterized by gas explosions, collapse of a false roof, extrusion of rocks, gas blower, flow rock, etc. The middle substage of catagenesis is characterized by gas explosions, outbursts of coal, rock and gas, rock bumps, rock falls, rock slips, false roof falls, rock-pressing out, gas blowers, rock falls etc. The late substage of catagenesis is characterized by such dynamic and gas-dynamic phenomena as gas explosions, coal and gas outbursts, rock falls, gas blowers, induced earthquakes, etc.

The rocks of each stage and substage of lithogenesis are characterized by strength, reservoir properties, humidity, gas content, etc. Systems of off supporting, roadway mining, airing and a number of other parameters depend on the properties of rocks and processes occurring in them. Construction, mining and supporting systems, systems of gas drainage and other parameters should be predicted with taking into account the properties of minerals and host rocks.

Key words: lithogenesis stages, geological processes, sedimentogenesis, diagenesis, catagenesis.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2018.

Рекомендовано до друку д-ром геол.-мін. наук Лукіновим В.В.