

Библиография:

1. Gehling G. James, Narbonne M. Guy, Anderson M. Michael. « The first named Ediacaran body fossil, *Aspidella terranovica*. » - *Paleontology*, Vol.43, Part 3, 2000, p.p. 427-456.
2. Fedonkin, M. A., 1985. "Systematic Description of Vendian Metazoa". - In Sokolov, B. S.; Iwanowski, A. B. *Vendian System: Historical–Geological and Paleontological Foundation*, Vol. 1: *Paleontology* (in Russian). Moscow: Nauka. pp. 70–106. <in russian>
3. Grazhdankin D.V., Marussin V.V., 2011. “Kotlinskiy horizont na Ujnom Urale”. – In “*Dokladi akademii nauk*”, 2011, v. 440, №2, p. 201-206. <in russian>
4. Hofmann H.J., Narbonne G.M., Aitken J.D., 1990. “Ediacaran remains from intertillite beds in northwestern Canada”. – *GEOLOGY*, 1990, v. 18, p. 1199-1202.
5. Jiang G., Shi X., Zhang S., Wang Y., Xiao S., 2011. “Stratigraphy and paleogeography of the Ediacaran Doushantuo Formation ca. 635–551 Ma) in South China”. - *Gondwana Research*, v. 19, p. 831–849.
6. Менасова А.Ш., Гриценко В.П. (2002). Знахідки подільських вендіат та аналіз їх тафономії // Вісник Київського університету. – Геологія, 21-22. – С. 94-97.
7. Великанов В.А., Асеева Е.А., Федонкин М.А. « Венд Украины ». – Киев :Наук.думка, 1983. – 164 с.
8. <http://www.stratigraphy.org>
9. Abderrazak El Albani and all. « Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago ». - Vol 466| 1 July 2010| doi:10.1038/nature09166.
10. Bing Shen, et al. « The Avalon Explosion : Evolution of Ediacara Morphospace ». – *Science* 319, 81, 2008.

ТЕХНОГЕННЫЙ СОЛЯНОЙ КАРСТ

А.М. Гайдин, Отделение горно-химического сырья Академии горных наук Украины

Окончательный диагноз
устанавливает патологоанатом.
Знакомый врач.

Освещаются результаты исследований соляного карста, развитие которого приводит к крупномасштабным авариям и гибели шахт. На основе натуральных наблюдений и физического моделирования сформулированы закономерности развития соляного карста с применением гидродинамического подхода. Предложены методы прогнозирования развития карста, затопления шахт, деформаций поверхности.

Проблема. Соляной карст – причина гибели многих шахт [1,2]. Приток пресной воды в соляные шахты сопровождается провалами земной поверхности, засолением подземных вод и другими негативными последствиями. Особенно обострилась эта проблема в последние годы. В марте 1994 года в США зарегистрировано сейсмическое явление, связанное с затоплением и обвалами на руднике Рецов. В России в 1986 и в 2006 году затоплены два рудника в Березняках. В октябре 2014 произошел новый провал над заброшенным рудником. В Украине в декабре 2008 года в Солотвине затоплена шахта №9, идет затопление шахты №8. Назревает авария на руднике №2 в Стебнике.

Литература. Одной из первых работ, посвященных техногенному соляному карсту, является статья А.Е. Ходькова [1]. Всестороннее освещение проблемы соляного карста предпринято Г.В. Короткевичем [2]. Некоторые аспекты техногенного соляного карста рассматривались П.К. Гаркушиным [3], и Я.М. Семчуком [4]. Другие публикации носят в основном описательный характер. Наблюдения за развитием происшедших в последние годы аварий на соляных шахтах в Солотвине, Калуше, Стебнике дали новый фактический материал,

позволивший существенно продвинуться в изучении техногенного соляного карста.

Цель статьи - раскрыть основные закономерности развития техногенного соляного карста, для чего необходимо было исследовать: 1) особенности гидрогеологических условий соляных месторождений и движения рассолов в природных условиях, 2) течение рассолов в горных выработках, 3) влияние затопления выработок на их устойчивость, 4) развитие процессов растворения в различных гидродинамических условиях. На основе проведенных исследований предложены методы прогноза карстовых деформаций и меры по их предупреждению.

Методика исследований. Основным инструментом познания соляного карста является физическое моделирование. В отличие от опытов специалистов Ленинградского ВНИИГа, проводивших исследования на моделях из чистой соли [6], нами готовились модельные смеси, имитирующие калийные руды, содержащие различное количество нерастворимых и слабо растворимых минералов. Наглядное представление о процессах соляного карста дали наблюдения за подрезанием бортов во время затопления калийного карьера в Калуше. Очень информативными являются результаты маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности. Предложенные на основе физического моделирования и непосредственных натурных наблюдений математические модели были проверены мониторингом при осуществлении мероприятий по предупреждению аварийных ситуаций.

Особенности гидрогеологических условий месторождений солей заключаются в том, что «несмотря на слоистость соли и в ряде случаев неоднородность, соляные тела даже в сильно смятых блоках обычно водонепроницаемы» [2]. Однако в определённый период геологической истории соли выходили на дневную поверхность и подвергались механической и химической эрозии. В результате на поверхности солей сформировалась кора выветривания, состоящая из проницаемой переходной зоны и кепрока - нерастворимых преимущественно глинистых образований, защищающих соль от дальнейшего растворения. Мощность кепрока различна. На Солотвинском месторождении каменной соли кепрок носит местное название «палаг», мощность его составляет 5-10 м. На Стебницком калийном месторождении в строении кепрока участвуют также отложения водных потоков, мощность кепрока составляет от 30 м в долинах до 150 м на водоразделах.

Древняя зона выветривания представляет собой проницаемую зону – *надсолевой коллектор*. На полиминеральных рудах это высокопроницаемый интервал из крупных кристаллов гипса, галита, мирабилита и слабо растворимых минералов, входящих в состав калийной руды. Вниз по разрезу зернистый материал сменяется кавернозной рудой, ещё ниже прослеживаются постепенно затухающие трещины. На контакте каменной соли с кепроком поверхность соли более гладкая, но в ней отмечаются многочисленные вертикальные микротрещины.

К надсолевому коллектору приурочен рассолоносный горизонт, вскрытие которого является причиной прорывов рассолов в горные выработки. Величина и динамика притока зависят от наличия и параметров связи рассольного горизонта с пресными подземными и поверхностными водами и с водообильностью последних.

Первоначально горизонтальные пласты соли деформировались под влиянием тектонических процессов. При том в замках антиклинальных складок возникали растягивающие напряжения, что сопровождалось образованием раскрытых трещин. К этому же явлению приводили пластические течения солей от мест с большой глубиной залегания к понижениям рельефа и тектоническим разрывам в покрывающих породах. В результате эрозии, тектонических движений и пластического течения сформировался сложный рельеф соляного зеркала. Перепад высотных отметок поверхности соли на Предкарпатских месторождениях достигает 50 м. Надсолевой коллектор заполнен рассолом.

Очевидно, что в природных условиях рассол был равновесным с солями и характеризовался застойным режимом, иначе за миллионы лет соляная залежь была бы растворена. Импульсом к началу водообмена возможно было антропогенное воздействие. С незапамятных времён люди начали копать колодцы и добывать рассолы, из которых вываривали соль. Откачка рассола вызвала перетекание воды из вышележащих отложений через слабопроницаемую покрывку в

местах с её минимальной толщиной. Там, в зонах питания рассольного горизонта, зародился антропогенный соляной карст. Будучи легче рассола, пресная вода двигалась от зон питания к рассолозаборам вдоль позитивных форм соляного зеркала. Это приводило к растворению солей и увеличению проницаемости надсолевого коллектора.

Масштабы соляного карста многократно увеличились тогда, когда по разным причинам горными выработками соляных рудников был вскрыт рассольный горизонт и начался прогрессирующий приток воды. Таким образом, в развитии соляного карста можно различать три этапа: природный, антропогенный и техногенный.

Динамика потоков рассола. Совокупность карстовых образований представляет собой гидродинамическую систему, в которой следует различать зоны питания, транзита и разгрузки. Течение рассолов в карстовых коллекторах и горных выработках может быть напорным и безнапорным. На участке напорного движения поток движется с малой скоростью в ламинарном режиме по приподнятым участкам рельефа соляного зеркала и характеризуется вертикальной зональностью химического состава: внизу насыщенный рассол, сверху опреснённый. В зоне безнапорного движения вода течёт в турбулентном режиме в направлении понижений рельефа соляного зеркала. Состав рассола выравнивается по вертикали из-за смешивания, ложе потока подвергается механическому размыву и интенсивному растворению, формируются узкие глубокие вертикальные каналы. Эти каналы растут в направлении к зонам питания подобно ущельям. Соответственно сокращается длина участка напорного течения.

Строение гидродинамической системы при затоплении соляных рудников, поясняется обобщённым разрезом, показанным на рисунке 1.

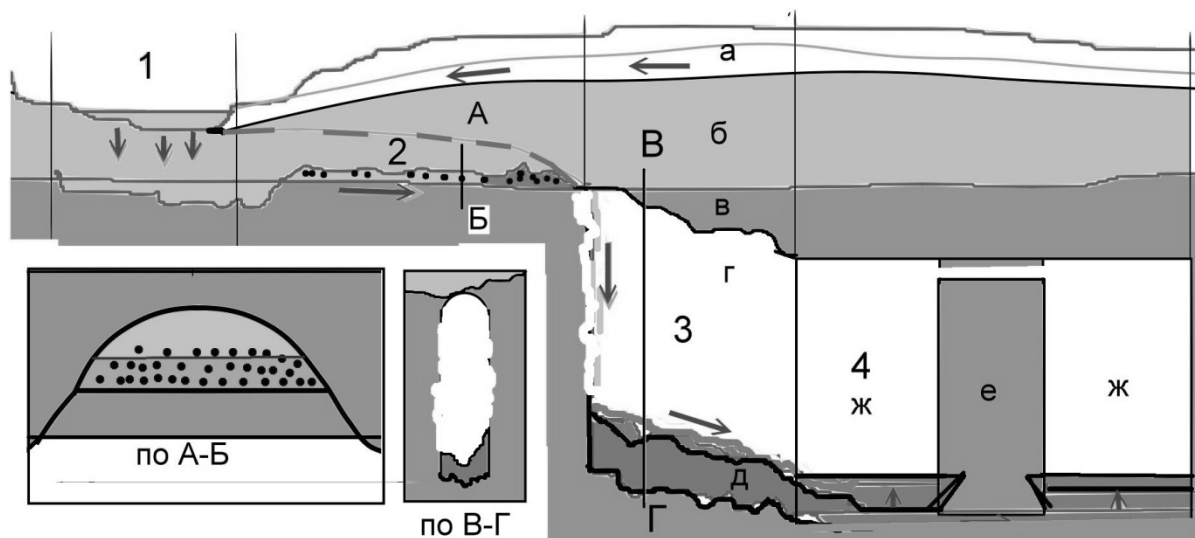


Рис. 1. Обобщённая схема зональности потока флюидов. 1-зона питания, 2-участок напорного потока, 3-участок свободного течения в карстовой полости, 4-зона течения в горных выработках. а-четвертичные отложения, б-кепрок, в-калийная руда, г- карстовая полость, д-нерастворимый осадок, е-целик, ж-камеры

В потоке различаются: 1) зона питания, характеризующаяся нисходящей фильтрацией поверхностных и грунтовых вод, 2) зона напорной фильтрации в трещиновато-зернистом надсолевом коллекторе, 3) водопад и зона свободного течения в карстовой полости, 4) зона течения в горных выработках.

В зоне питания поверхность соли омывается пресной водой, идёт интенсивное растворение солей. Каждый кубометр пресной воды растворяет $0,16 \text{ м}^3$ каменной соли. Над образующимися полостями земная поверхность оседает, на краях мульд оседания образуются трещины. Через последние увеличивается инфильтрация воды, полости растут. После достижения последними критических размеров происходят провалы покрывающих пород. Поскольку на выходе из зоны питания концентрация рассола как правило достигает равновесной с солями, объём образующихся карстовых пустот W_k можно оценить по формуле:

$$W_k = 0,16 W_b,$$

где W_a - объём рассола, поступившего в шахту с момента прорыва. Например, в Стебницкий рудник №2 с 1978 года поступило 11 млн. м³ рассола со средней минерализацией 310 г/л. Растворено $11 \cdot 0,16 = 1,7$ млн. м³ солей.

В зоне транзита различаются участки напорного и безнапорного потока. На участке напорного потока агрессивный неравновесный рассол занимает верхнюю часть потока, а с солью соприкасается более тяжёлый насыщенный рассол. Растворению соли препятствует слой нерастворимых осадков, которые обваливаются с покрывающей глинистой толщи.

Впадение рассола в горные выработки происходит в виде капежа или водопада. Здесь насыщенный и опреснённый рассолы смешиваются. Агрессивная смесь прорезает в солях щель, на дне которой течёт подземный ручей. Такую щель можно непосредственно наблюдать в Солотвине, где вода льётся из оборванной водоотводной штольни (рис. 2). Вода падает на глубину более 200 м, прорезая щель шириной 3-10 м со скоростью 20-30 м в год. В низу щели накапливаются продукты обвалов и нерастворимые включения.



Рис.2. Карстовая щель в соляной залежи (шахта №8 в Солотвине)

Скорость течения зависит от положения базиса эрозии. Если скорость превышает критическую, донные осадки размываются, обнажая поверхность соли. Происходит углубление щели. Если скорость меньше критической, соль на дне потока покрывается нерастворимыми осадками, происходит растворение стенок с образованием ниш.

В Солотвине, где вершина соляного купола осушена, течение воды происходит в безнапорном режиме вдоль контакта солей с боковыми породами. Низ проницаемой зоны покрыт обвальными отложениями и заполнен концентрированным рассолом, поэтому растворение не распространяется к низу. Зато в боковой поверхности образуется ниша, как показано на рис. 3.

Зонай разгрузки служат горные выработки. Особенности движения рассолов в выработках рассмотрены автором в статье [5]. Скорость растворения солей зависит от ориентации растворяемой поверхности. Вертикальная стенка каменной соли растворяется в пресной воде со скоростью до 70 м/год [6]. Кровля выработок растворяется вдвое быстрее, чем стенки. На наклонной поверхности образуется слой насыщенного рассола, который под влиянием сил гравитации стекает вниз. Толщина слоя увеличивается с уменьшением наклона.

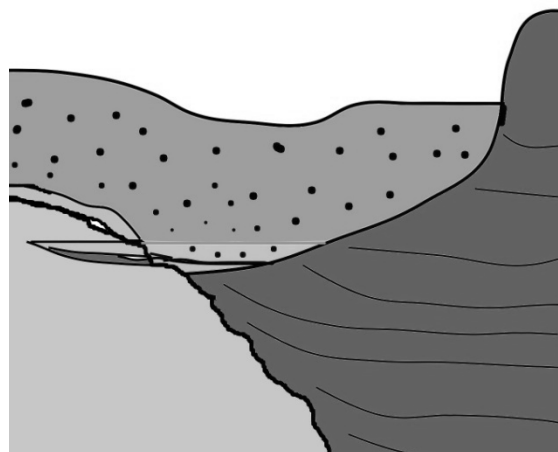


Рис.3. Схема безнапорного течения воды в зоне транзита. На пересечении уровня воды с боковой поверхностью соляного купола образуются ниши.
1-галечник, 2-глина, 3-мергель, 4-соль, 5-рассол.

При затоплении горизонтальных горных выработок быстрее всего растворяется кровля и верхняя часть стенок, отчего последние приобретают наклон. Нерастворимый остаток сначала осыпается со стенок и образует призму на почве выработки. Когда наклон стенки достигает угла естественного откоса осадка ($35-45^{\circ}$ к горизонту), поверхность покрывается нерастворимым материалом, растворение стенок прекращается. Первоначально прямоугольная в вертикальном сечении выработка приобретает форму треугольника, обращенного вершиной вниз (рис. 4).

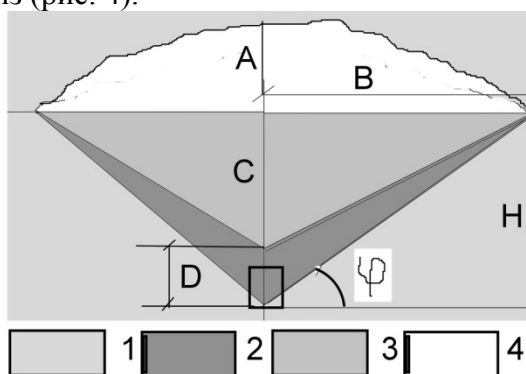


Рис.4. Развитие карста в горизонтальной выработке при скорости затопления, меньшей скорости растворения. 1-соль, 2-нерастворимый осадок, 3-флюид, 4-пустота

Поскольку скорость поднятия уровня в горных выработках всегда меньше, чем скорость растворения, полуширину кровли B (основания треугольника) можно определить из формулы:

$$B = H \operatorname{ctg} \varphi,$$

где H - высота уровня флюида над почвой выработки, φ – угол трения между поверхностью соли и нерастворимым осадком. По достижению определённой ширины первоначально плоская кровля выработки обваливается, приобретая форму свода. На основе натуральных наблюдений установлено, что высота свода в соляных отложениях равна $0,25-0,3$ ширины выработки.

Соляные месторождения чаще всего отрабатывают камерным способом с оставлением межкамерных целиков. В нижней части камера имеет вид траншеи, угол наклона которой приблизительно равен углу естественного откоса дробленой руды. Соль из камер выпускают по сбойкам в орты, по ним транспортируют к откаточным штрекам.

При поступлении рассола в камеры сначала он стекает по сбойкам в орты, заполняет штреки и квершлагги. Когда уровень рассола находится в пределах траншеи, растворение соли практически не происходит, поскольку поверхность быстро изолируется нерастворимым осадком. После того, как уровень достигает основания целиков, в вертикальных их стенках образуются ниши. Форма ниши зависит от скорости растворения солей и от скорости поднятия уровня. Поскольку в солях имеется примесь нерастворимых минералов, растворяется только верхняя поверхность ниши, тогда как нижняя покрывается нерастворимым остатком и таким способом защищается от дальнейшего растворения.

Глубина ниши очевидно зависит от длительности контакта T между соленосной породой и рассолом. Длительность контакта в точке, соответствующей вершине призмы нерастворимого остатка, определяется формулой:

$$T = (H - h) / V_1,$$

где H – высота затопленной части камеры; h – высота призмы нерастворимого осадка, V_1 – скорость поднятия уровня рассола (рис.5).

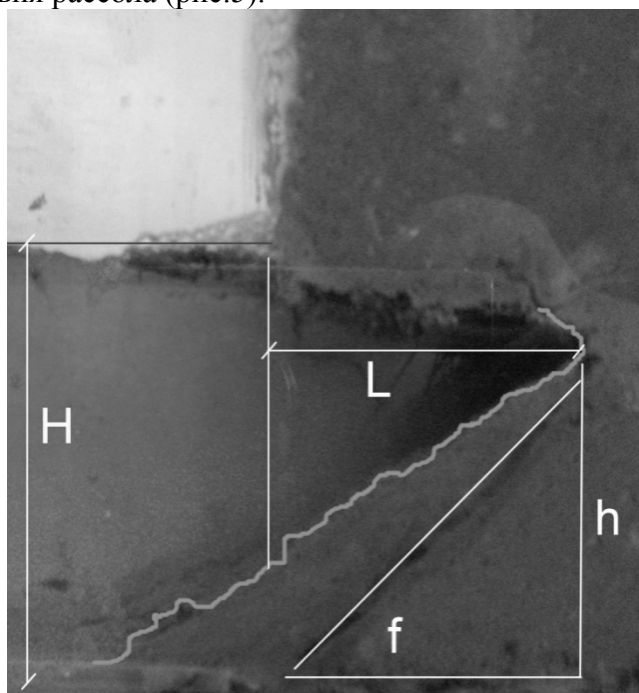


Рис.5. Образование ниши в целике при затоплении камер агрессивным рассолом (модель)

Глубина ниши L равна:

$$L = V_2 T = V_2 (H - h) / V_1,$$

где V_2 – линейная скорость растворения соленосной породы. Для чистой соли $h=0$, тогда

$$L = V_2 H / V_1,$$

ниша имеет горизонтальное основание.

При наличии нерастворимых примесей нижняя поверхность ниши покрыта нерастворимым осадком, поэтому

$$h = L \operatorname{tg} f,$$

где f – угол трения между осадком и поверхностью соленосной породы.

После преобразований получаем следующую формулу для определения глубины ниши:

$$L = H V_2 / (V_1 + V_2 \operatorname{tg} f).$$

При медленном затоплении, когда скорость поднятия уровня V_1 очень мала, тогда

$$L = H / \operatorname{tg} f,$$

то есть ниша имеет горизонтальную кровлю, совпадающую с уровнем затопления.

Скорость растворения. По данным Я.М.Семчука [2] скорость растворения вертикальной стенки каинитовой руды в пресной воде составляет 19 м в год. Можно допустить, что

скорость растворения солей в ненасыщенном рассоле пропорциональна дефициту насыщения D – разнице между концентрациями насыщенного и ненасыщенного рассола:

$$V_2 = 19 D / C_n$$

где 19 м/год – скорость растворения в пресной воде, C_n – концентрация насыщенного рассола.

С использованием выявленных закономерностей рассчитан процесс подрезания целиков рудника №2 ненасыщенными рассолами. Для условий Стебницкого месторождения концентрация насыщенного рассола измерена при анализе проб, отобранных из давно затопленных камер, она равна 388 г/л. В камеру №110 на втором горизонте рудника №2 с дренажного горизонта поступала вода с минерализацией 343 г/л, дефицит насыщения $D=45$, скорость растворения $V_2=19*45/388=2,2$ м/год. К октябрю 2014 года высота затопленной части камеры достигла 31 м. Скорость поднятия уровня составила 3,2 м/год. Угол естественного откоса нерастворимого осадка примерно равен 45^0 . Подставляя данные в формулу, получим

$$L = 31*2,2 / (3,2 + 2,2*1) = 12,6 \text{ м}.$$

Согласно расчёту, целики полностью подрезаны и должно произойти обрушение междуэтажной потолочины. В действительности в октябре 2014 г уровень рассолов в камерах второго горизонта рудника №2 неожиданно поднялся на 3 м, тогда как в течение последних двух лет скорость поднятия уровня была постоянной и составляла 0,286 м в месяц. Обследование показало, что произошел обвал целиков второго горизонта и междуэтажной потолочины. Целики первого горизонта оказались в подвешенном состоянии и тоже обвалились.

Поверхностные проявления карста. На шахтных полях наблюдается проседание поверхности, обусловленное деформациями целиков и развитием соляного карста. Так как целики обычно имеют запас прочности 2,5-3,0, проседание поверхности над горными выработками не превышает 20 мм за 10 лет, что свидетельствует о жестком состоянии целиков. В то же время мульды проседания над карстовыми пустотами, вытянутые от мест питания водоносного горизонта до мест водопритока достигают 15 см в год.

Деформации поверхности подчиняются следующей зональности. В зоне питания идёт оседание земной поверхности и провалы, обусловленные неравномерным растворением солей. В зоне напорного потока растворение идёт по большой площади, здесь наблюдается плавное оседание покрывающей толщи. В зоне безнапорного потока возможность провалов над промытыми щелями зависит от ширины каньона и прочности покрывающих пород. Тут провалы чаще всего инициируются некоторыми дополнительными факторами, например, наличием скважин или вертикальных горных выработок, разрушением целика в шахте, землетрясением.

В развитии провалов наблюдаются следующие фазы: 1) образование и рост купола обрушения над карстовой полостью; 2) достижение куполом земной поверхности с образованием провала с субвертикальными или нависающими стенками; 3) дренирование провалом подземных вод и сбор поверхностных вод, которые смачивают и размывают соляные стенки провала, остающиеся при этом вертикальными. Обваливание стенок покрывающих пород приводит к формированию воронки с бортами под углом естественного откоса. Глубина воронки может достигать мощности покрывающих пород.

После формирования провала поступающие в него поверхностные и подземные воды растворяют стенки полости в солях, воронка расширяется. При этом действует правило: *сколько растворилось, столько и провалилось*. При этом увеличение площади провала можно прогнозировать по формуле:

$$F = \kappa W / H,$$

где κ - коэффициент, зависящий от дефицита насыщения воды, W – объём воды, поступившей в провал, H - глубина базиса эрозии – высота от соляного зеркала до уровня воды. Например, в соляную шахту поступает 3.6 млн. м³ в год пресной воды, $\kappa=0.16$. За год

образуется 0.57 млн. м³ пустот. При этом растворяется водозащитная толща мощностью 40 м. Площадь ожидаемых провалов 1.4 га в год.

Борьба с карстом. Соляной карст подобен болезни, которую можно предупредить, но трудно вылечить. Для принятия решения о противокарстовых мероприятиях необходимо прежде всего выяснить положение области питания рассолоносного горизонта, путей транзита и разгрузки потока. Локальные области питания ликвидируют путём отведения поверхностных вод, засыпки провалов, отсыпки глиняных экранов.

Перекрыть поток в зоне транзита можно путём гидрозакладки карстового канала дисперсным материалом через скважины. Успешный опыт осуществлённого нами такого мероприятия описан в книжке [8].

В зоне разгрузки в случае притока рассолов в горизонтальные выработки место поступления рассола отделяют водонепроницаемой перемычкой [6]. Если же рассол поступает в камеры и место притока не может быть изолировано перемычками, навстречу потоку проходят дренажные выработки.

Известным способом предупреждения деформаций поверхности над выработанным пространством является закладка [7]. Однако стоимость этого мероприятия часто намного больше, чем ожидаемый ущерб. Поэтому в мировой практике совмещают закладочные работы с захоронением различных отходов, включая токсичные и радиоактивные.

При ликвидации аварийных шахт наиболее эффективным способом предупреждения провалов является затопление отработанных шахт насыщенным рассолом, успешно осуществляемое в Калуше [3].

Если произошел провал, первоочередным необходимым мероприятием является его засыпка. Сначала нужно создать препятствие для выноса засыпаемого грунта в карстовые полости или в горные выработки. Для этого нужно заполнить жерло провала крупногабаритным материалом: бульжником, бетонными блоками, брёвнами. После этого можно засыпать воронку местным грунтом, желательно глинистым.

Выводы.

1. Особенность гидрогеологических условий соляных месторождений заключается в наличии проницаемой зоны на контакте солей с кепроком. Здесь имеет распространение рассолоносный горизонт. В природных условиях рассолы практически неподвижны. Первоначальное развитие карста во многом связано с антропогенными воздействиями - добычей рассолов для выварки соли. Прорывы рассолов в шахты чаще всего обусловлены техногенным воздействием - вскрытием рассолоносного горизонта горными выработками или скважинами.

2. В солянокарстовой гидродинамической системе различаются: 1) зона питания, характеризующаяся нисходящей фильтрацией поверхностных и подземных вод, 2) зона транзита с участками напорной фильтрации в трещиновато-зернистом надсолевом коллекторе, водопад и участок свободного течения в карстовой полости, 4) зона течения в горных выработках. На участке напорной фильтрации рассолы движутся вдоль приподнятых участков соляного зеркала. На границе напорного и безнапорного участков наблюдается водопад, прорезающий в солях щель, растущую в направлении зоны питания.

3. При течении рассолов в горизонтальных горных выработках их почва не растворяется, а стенки приобретают наклон, равный углу естественного откоса нерастворимого остатка. Поэтому выработки приобретают форму треугольника, обращённого вершиной вниз. Так как скорость затопления шахт меньше скорости растворения солей, кровля выработки смещается вверх со скоростью, равной скорости поднятия уровня.

4. Затопление шахт насыщенным рассолом повышает устойчивость целиков в результате действия Архимедовых сил. Приток ненасыщенных рассолов в добычные камеры приводит к подрезанию целиков. Этот процесс зависит от дефицита насыщения рассола и от скорости поднятия уровня. В целиках образуются ниши растворения, что приводит к их разрушению с последующим провалом покрывающей толщи.

5. Деформации поверхности наиболее вероятны в зонах питания, где с солями контактируют пресные воды. Над горными выработками провалы являются следствием подрезания и обрушения целиков. В развитии провалов различаются стадии 1) скрытого формирования и обрушения купола, 2) образования вертикального провала, 3) выполаживания его стенок в покрывающих породах с одновременным расширением за счёт растворения соляных стенок.

6. На основе проведенных исследований предложены методы прогноза карстовых деформаций и меры по их предупреждению. Соляной карст подобен болезни, которую можно предупредить, но трудно вылечить. Для принятия решения о противокарстовых мероприятиях необходимо прежде всего выяснить положение области питания рассолоносного горизонта, путей транзита и разгрузки потока.

Список литературы

1. Ходьков А.Е. Искусственный промышленный карст и его гидрогеологическое значение. –Л-д: Труды ВНИИГ, 1959, вып.35, с.395-421.
2. Короткевич Г.В. Соляной карст. – Л.:Недра, 1970. - 256 с.
3. Семчук Я.М., Боднар Г.В., Хмара І.Є., Цимбалиста Г.М. Екологічні наслідки розробки калійних руд на Калуш-Голинському родовищі. «Екологія довкілля та безпека життєдіяльності». – 2008. - №6. С.12-16.
4. Гаркушин П.К. Расчёт параметров сдвижения земной поверхности при разработке калийных месторождений по камерно-столбовой системе. - Горный журнал. – 1995. - №12. С. 26-29.
5. Гайдін А.М. Затопление калийной шахты. - Экология и промышленность. – 2007. - №2. С.17-22
6. Пермьяков Р.С., Бельды М.П., Романов В.С. Технология добычи солей. - М.:Недра. - 1981. - 258 с.
7. Борзаковский Б.А., Папулов Л.М. Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках. – М: Недра. – 1994. 234 с.
8. Гайдін А.М., Рудько Г.І. Сульфатний карст та його техногенна активізація. – К.:«Знання». - 1998. - 75 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКВАЖНОСТИ РЫХЛОЙ ГРАВИЙНОЙ ОБСЫПКИ ГРАВИЙНОГО ФИЛЬТРА. ЧАСТЬ 2

А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ф. Камышацкий, Государственное высшее учебное заведение "Национальный горный университет", Украина
Б.Т. Ратов, НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», Республика Казахстан

Представлена методика расчета скважности гравийной обсыпки гравийных фильтров в зависимости от диаметра частиц гравия и их упаковки. В методике расчета скважности гравийной обсыпки принято осесимметричное расположение частиц гравия.

Проблема увеличения водоотбора и долговечности службы водозаборных скважин, стоящая в настоящее время во всех странах, связана с внедрением фильтров гравийного типа. Гравийные фильтры получают всеобщее признание, в связи с чем совершенствуются как конструкции, так и методы сооружения скважин, оборудованных ими.

К гравийным относятся фильтры, у которых поверхность, контактирующая с водоносной породой, состоит из искусственно вводимого гравия, расположенного вокруг опорных фильтровых каркасов, из щелевых труб, проволочных, стержневых и др.

Гравийную обсыпку следует рассматривать как средство увеличения радиуса фильтра