

УДК 553.631:[551.2:556.3](477.87)

Особенности геодинамики и гидрогеологического режима Солотвинского месторождения каменной соли (Закарпатский внутренний прогиб)

Привалов В. А.¹, Панова Е. А.²

¹ Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

² Украинский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики и маркшейдерского дела, Донецк, Украина

Аннотация

Вследствие длительной разработки соляной залежи в Солотвинском районе произошло техногенное переформирование исходного «надкупольного» рельефа, характерного для процессов соляной тектоники. В результате нарушения стационарного гидрогеологического режима и выщелачивания соли в районе месторождения возникли многочисленные карстовые воронки диаметром до 200 м, в том числе заполненные рассолами впадины, заболоченные участки и просто провалы, которые в последние годы приобрели тенденцию необратимых катастрофических процессов. Результаты дешифрирования космоснимков позволяют констатировать, что структура рассматриваемой территории развивалась в условиях относительно однородного поля напряжений с субмеридиональной ориентировкой оси главного сжатия и субширотной – оси главного растяжения. Солотвинская купольная структура пространственно приурочена к пулл-апарту между серией эшелонированных сдвигов «карпатской ориентировки». В условиях современной правосторонней активизации сдвиговой зоны и создания кинематической обстановки локального присдвигового растяжения – разуплотнения массива в районе месторождения возникают специфические условия для подъема – субвертикальной миграции напорных вод с глубоких горизонтов месторождения.

Солотвинское месторождение каменной соли и одноименный солерудник расположены в Тячевском районе Закарпатской области и являются одним из старейших горнодобывающих регионов Украины. Промышленная подземная разработка соляной залежи здесь была начата с 1778 г. (шахта №1 «Кристина») и велась шахтами, среди которых №2 «Альберт» (1781 г., закрыта из-за прорыва грунтовых вод), №3-4 «Кунигунда» и «Николай» (заложены в 1789 г., закрыты в 1903 г.), №5 «Йосиф» и №6 «Старый Людвиг» (1804–1895 гг.), №7 «Франтишек» (1809–1955 гг.), №8 «Новый Людвиг» (работает с 1886 года, в настоящее время не отрабатывается, работает только водоотливная система), №9 (отработка с 1975 г.).

Соляная залежь представляет собой асимметричную вытянутую в СЗ-ЮВ направлении купольную структуру с углами падения на крыльях от 55° до 85° и является классическим примером соляного штока, протыкающего за счет инверсии плотностей и гравитационного всплывания более молодые породы крыльев.

Контакт между соляным телом и вмещающими породами – тектонический. Для Солотвинской купольной структуры характерно наличие зон дробления, брекчирования и трещиноватости вмещающих пород в зоне их контакта с соляным телом, а также слабое подворачивание слоев вмещающих пород к дневной поверхности. Внутренняя складчатость соляной толщи обусловлена пластическими свойствами каменной соли, благодаря которым даже в наиболее напряженных и интенсивно выраженных складчатых формах соль не теряет своей сплошности, не разрывается, складки не сопровождаются дизъюнктивными нарушениями. Более жесткие терригенные породы при выжимании соляного штока были не только смяты, но и разбиты сеткой разрывов, преимущественно сбросов растяжения, характерных для кинематических обстановок галокинеза.

Вследствие длительной и все еще продолжающейся разработки соляной залежи в Солотвинском районе произошло техногенное переформирование исходного «надкупольного» рельефа, характерного для процессов соляной тектоники. В результате нарушения стационарного гидрогеологического режима и выщелачивания соли в районе месторождения возникли

многочисленные карстовые воронки диаметром до 200 м, в том числе заполненные рассолами впадины (участок Затон), заболоченные участки (Черный Мочар, Малый Мочар и др.) и просто провалы, которые в последние годы приобрели тенденцию необратимых катастрофических процессов.

В частности, развитие соляного карста в форме воронки более 100 метров в диаметре и 130 метров в глубину привело к обвалу солезагрузочного бункера шахты №9 и ее временной остановке. Кроме того, в самой шахте находится лечебный комплекс для больных бронхиальной астмой, в который пациенты и персонал продолжают спускаться по аварийному стволу. Самой активной зоной карстопоявлений на сегодняшний день является площадное проседание в районе затопленной шахты №7, а также площадь Малого Мочара. Несмотря на активизацию работ по засыпке воронок и перепланировки поверхности – под угрозой другие объекты солерудника и сам город, недра которого пронизаны горными выработками.

Большие проблемы создал прорыв воды 5 марта 1999 г. в выработки Верхневосточного штрека, а оттуда – на рабочие горизонты шахты №9. Верхневосточный штрек пройден в 1927 г., как разведочная выработка на горизонте +207,3 м. При его проходке была вскрыта промоина с дебитом 120 м³/час. После неудачных попыток затампонировать промоину, начали проходку сети разветвленных дренажных выработок с целью перехвата воды на подходе к штреку. В процессе горных работ было вскрыто множество трещин. Ситуация осложняется прорывами водно-галечниковых потоков в отработанные горные выработки первого горизонта, вследствие образования вертикальных промоин.

В геоструктурном отношении Солотвинское месторождение каменной соли расположено в юго-восточной части Солотвинской (Верхнетисенской) впадины, входящей в состав Закарпатского внутреннего прогиба, в границах которого проходит зона коллизии Евразийской и Паннонской плит [1].

Сам прогиб ограничен от складчатых Карпат (Пенинские скалы, Мармарошский кристаллический массив) и Паннонского бассейна глубинными разрывами ЗСЗ-ВЮВ или «карпатского простирания» и выполнен неогеновыми молассовыми отложениями, несогласно залегающими на гетерогенном палеозойском и мезозойско-палеогеновом основании.

В современном структурном плане Закарпатский прогиб представляет собой Чоп-Мукачевскую и Солотвинскую впадины, которые разделены между собой в районе г. Хуст следующим вдоль Боржавского разлома и хребтов Большой Шолес (Тупой), Оаш субмеридиональным фрагментом Выгорлат-Гутинской постороженной вулканической гряды. Морфоструктура Солотвинская впадины характеризуется холмистым рельефом с абсолютными отметками +200...+600 м. Характерным является ступенчато-террасовое строение водоразделов и местами хорошо выраженные куэстовые гряды.

Различные части Закарпатского прогиба опускались с разной интенсивностью. В пределах Солотвинской впадины устойчивые отрицательные тектонические движения начались еще в олигоцене и достигли максимума в миоцене. В результате прогибания сформировалась мощная толща (5–6 км) тортон-гельветских морских терригенных и лагунных соленосных отложений. В частности, тортонская тереблинская свита содержит мощную (~2 км) толщу галогенных отложений. Соляная залежь имеет сложное внутреннее строение, обусловленное чередованием прослоев и линз чистой, белой соли с солью, в различной степени загрязненной примесью глинистых частиц, наличием линз и пропластков внутрисоляных глин, а также глинисто-соляных брекчий. Общее падение пластов соли обычно согласуется с падением крыльев купола. Внутреннее же строение пластов осложнено дополнительной микроскладчатостью. Пробуренная в г. Солотвино в соляном штоке скважина №1 на глубине 1219,6 м из соли не вышла.

Анализ материалов о тектоническом строении Солотвинской впадины, результатов бурения скважин и сейсморазведки в пределах месторождения показывает, что здесь широко распространены так называемые малоамплитудные тектонические разрывы не только характерной «карпатской» ЗСЗ-ВЮВ ориентировки, но и северо-восточного, северо-западного, а также меридионального простирания, которые придают исследуемой территории своеобразное блочное строение.

Блочная структура земной коры существенно меняет свойства среды и оказывает влияние на протекание многих процессов: геодинамических, сейсмических, фильтрационных,

массопереноса и др. Для детализации структурно-тектонического рисунка района месторождения и сопредельных территорий было предпринято дешифрирование космических снимков. При дешифрировании космофотоснимков (рис. 1) особое внимание уделялось трассировке линейных элементов речной и овражно-балочной сети, контрастных форм структурно-обусловленного рельефа.

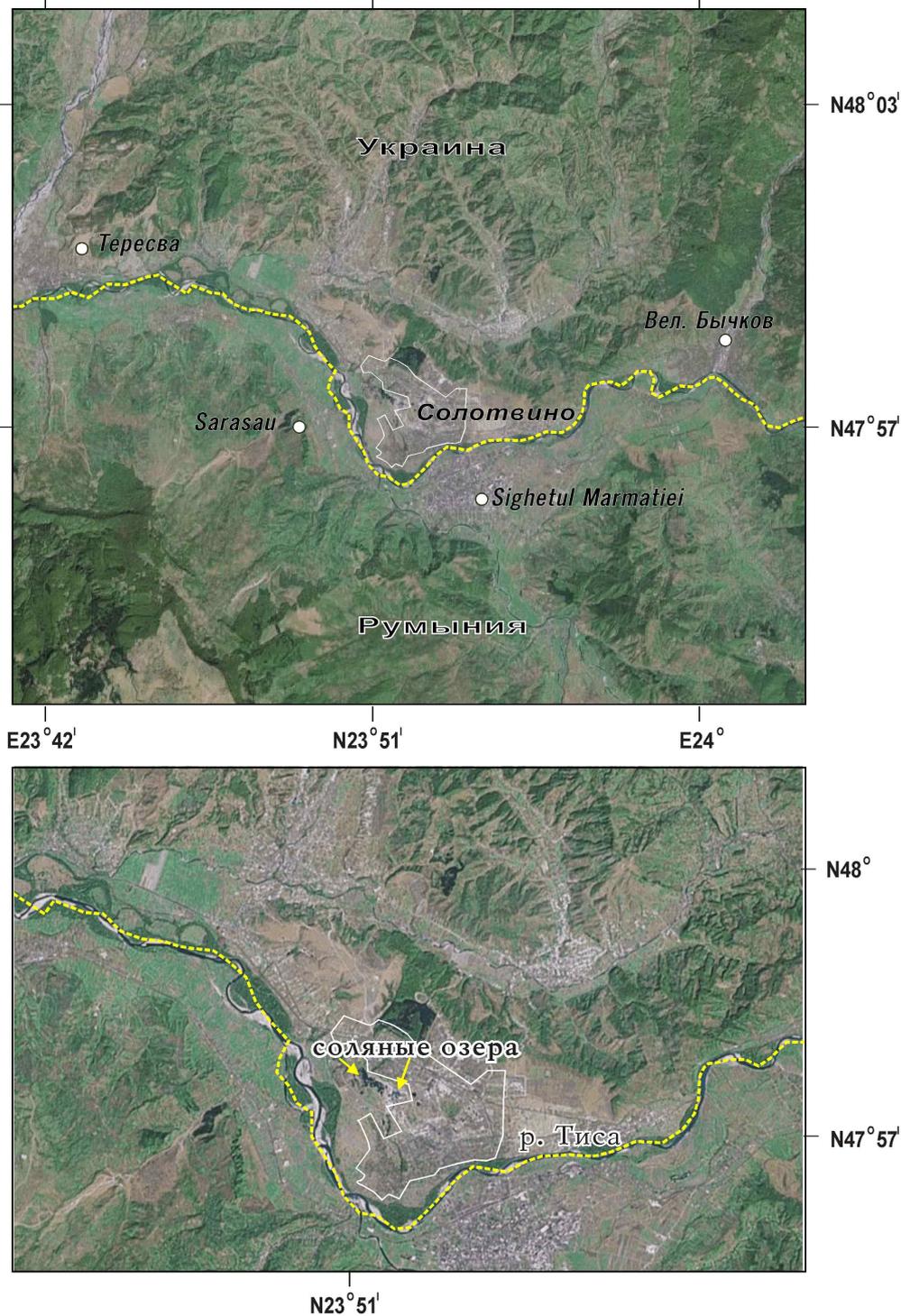


Рис. 1. Космоснимки района Солотвинского месторождения и прилегающих территорий.

Результаты дешифрирования представлены на рис. 2 и позволяют констатировать, что структура рассматриваемой территории развивалась в условиях относительно однородного поля напряжений с субмеридиональной ориентировкой оси главного сжатия (σ_1) и субширотной – оси главного растяжения (σ_3).

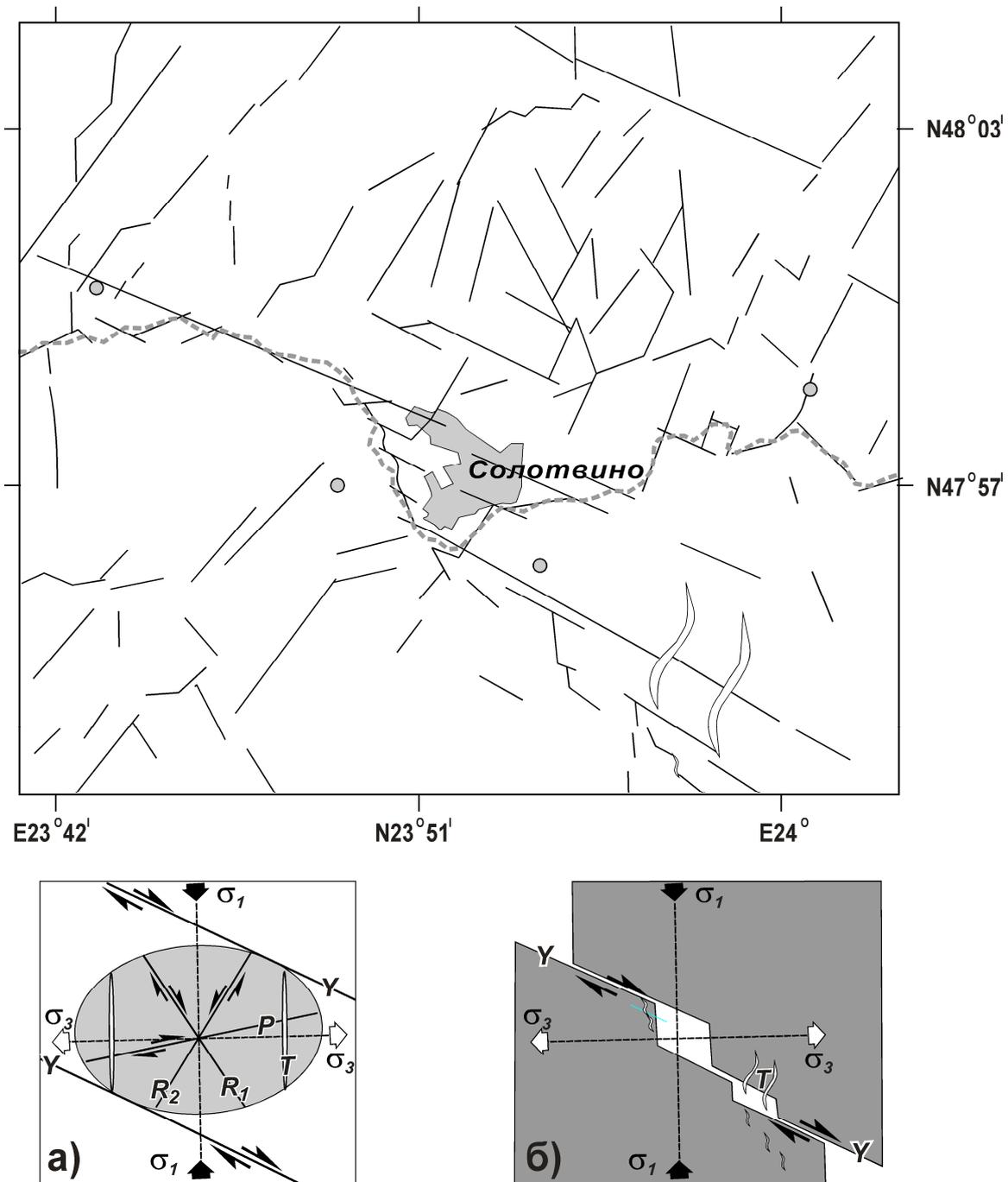


Рис. 2. Результаты структурно-тектонического дешифрирования космофотоснимков района Солотвинского месторождения и прилегающих территорий.

На детализациях показаны: а) ориентировки Y , R_1 , R_2 , P сколов (сдвигов), трещин растяжения T и их соотношение с эллипсом деформации в условиях хрупкого деформирования при горизонтальном положении главной кинематической плоскости $\sigma_1-\sigma_3$; б) модель формирования присдвиговой структуры растяжения (Солотвинского пулл-апарта) в контуре главной сдвиговой зоны «карпатской» ЗСЗ-ВЮВ ориентировки.

Преимущественно хрупкое, блоковое деформирование верхних горизонтов коры региона сопровождалось формированием правосдвиговой зоны «карпатской» ЗСЗ-ВЮВ ориентировки. В тектоническом режиме сдвига (горизонтальное положение главной кинематической плоскости $\sigma_1-\sigma_3$) в контуре и окрестности сдвиговой зоны образуется сложный комплекс структур [2–5], включающий:

- а) параллельные основной зоне смещения Y -сдвиги;
- б) сопряженные сколы Риделя – синтетические R_1 СЗ-ЮВ ориентировки и антитетические R_2 СВ-ЮЗ ориентировки, которые формируются под углом $\pm\theta = 33 \pm 4^\circ$ симметрично относительно направления сокращения (оси сжатия σ_1);
- в) вторичные синтетические P -сдвиги ВСВ-ЗЮЗ ориентировки, которые располагаются симметрично R_1 -сколам относительно оси основной сдвиговой зоны;
- г) сбросы и трещины растяжения T , формирующиеся перпендикулярно к оси удлинения (оси растяжения σ_3) с характерными для зон правого сдвига слабыми Z -образными изгибами.

Следует отметить, что в контуре основной сдвиговой зоны Солотвинская купольная структура пространственно приурочена к присдвиговой структуре локального растяжения (пулл-апарту) между серией эшелонированных Y -сдвигов. В условиях правосдвиговой активизации на участке Солотвинского пулл-апарта создавались условия локального растяжения, благоприятные для процессов гравитационного всплывания соли и последующего соляного диапиризма.

В рамках геотектонической концепции мобилизма, отдельные тектонические плиты представляют собой тонкие оболочки, перемещающиеся по сравнительно пластичной астеносфере. В результате этих процессов в верхних горизонтах земной коры генерируются преимущественно сдвиговые поля напряжений с субгоризонтальным расположением главных нормальных напряжений сжатия σ_1 и растяжения σ_3 . Именно эти условия определяют повсеместное и доминирующее распространение сдвигов в земной коре, которые зачастую из-за невозможности определения реальных горизонтальных амплитуд перемещения блоков ошибочно интерпретируются как малоамплитудные разрывные нарушения – сбросы и взбросы [6].

Термин «пулл-апарт» [7] обычно ассоциируется с поверхностными параллелограммовидными так называемыми «присдвиговыми» впадинами, возникающими на участках кулисообразного изгиба или эшелонного перекрытия региональных сдвигов. При этом поперечными границами впадин являются трещины отрывы или сбросы.

В работе Ал. В. Тевелева и др. [8] высказано предположение о том, что режим присдвигового растяжения реализуется на разных уровнях земной коры различными механизмами: вязко-пластичным течением в нижних горизонтах и хрупким растаскиванием блоков в верхних горизонтах (подобно рифтовому растяжению в модели Б. Вернике [4]). Граница вязкого и хрупкого деформационного поведения пород является корневой зоной листрических сбросов, ограничивающих приповерхностные структуры растяжения. Вблизи этой границы и локализуются трансензионные магматические очаги, заполнение которых связывается с активным ритмичным всасыванием расплава в область пониженных давлений расширяющейся магматической камеры. В кристаллическом фундаменте, на участках присдвигового растяжения приоткрываются своеобразные «окна», которые модулируют процессы транспорта магматических расплавов и газовой-жидких флюидов в вышележащие горизонты.

В 90-х гг. прошлого столетия возникли новые предпосылки изучения структур присдвигового растяжения – пулл-апартов в связи с установлением вертикальной тектонической и геодинамической расслоенности земной коры и мантии, физически выражающейся в чередовании зон уплотнения и дилатационного разуплотнения. В зонах разуплотнения при неотектонических движениях происходит активная миграция и подъем флюидов, возникают условия для нарушения стационарного гидрогеологического режима [9].

В пределах Закарпатского внутреннего прогиба, соответствующего Закарпатскому гидрогеологическому району Карпатского бассейна, выделяются Мукачевский, Солотвинский гидрогеологические подрайоны и подрайон трещинных вод Выгорлат-Гутинской вулканической гряды. Основные водоносные комплексы приурочены к мезозойским (триас, мел), палеогеновым и неогеновым (гельвет, сармат, тортон, паннон, левантин) отложениям. Региональными водоупорными толщами в пределах гидрогеологического района являются луковско-добробратовские глинистые отложения нижнего сармата и соленосные образования тереблинской свиты нижнего тортона [10].

В пределах Солотвинского гидрогеологического подрайона, где миоценовые образования, помимо дизъюнктивных нарушений, осложнены явлениями соляного диапиризма, мощность зоны интенсивного водообмена в центральной части составляет 200–300 м, на юго-западе и юго-востоке она увеличивается до 500–600 м, охватывая в основном отложения верхнего тортона [11]. В северо-восточной, прибортовой части Солотвинского подрайона к этой зоне отнесена вся толща тортон-гельветских образований. Здесь распространены воды с минерализацией до 10 г/л, гидрокарбонатно-натриевого и реже сульфатно-натриевого типов с различным сочетанием катионов и анионов. На участках, приближенных к соляному куполу, у поверхности развиты типичные воды выщелачивания с минерализацией, достигающей 300 г/л.

Выщелачивание соли подземными водами привело к тому, что глинистая составляющая каменной соли оставалась на месте выщелачивания. В результате в кровле соляной толщи накопилась пластообразная залежь вязких глин, получивших местное название «палага». Мощность «палага» составляет от нескольких сантиметров до 2–5 м, реже, достигая 10–20 м. Целостность «палага» нарушена на севере от шахт №3-4 «Кунигунда-Николай», в 100 м на северо-запад от шахты №1 «Кристина», а также в районе «Затона». Глины «палага» являются надежным водоупором, однако в последние годы не всегда соблюдалась их целостность. Все ранее пройденные и затем заброшенные шахты явились своеобразными «окнами», через которые в соляную залежь получили свободный доступ грунтовые воды.

Гидрогеологическую ситуацию месторождения определяют несколько водоносных горизонтов.

Надсолевые воды приурочены к четвертичным аллювиальным горизонтам пойменной и надпойменных террас р. Тиса. Отмеченные горизонты находятся в гидравлической связи и в разной степени участвуют в обводнении месторождения. Определенную роль в обводненности соляного тела играют поверхностные водотоки и водоемы, ручьи Глод и Извор, а также озера в западной части месторождения (участок Затон). Воды первой надпойменной террасы дренируются пойменной террасой, нижней частью дренажной Тисы-штольни и рядом источников. Движение потока в районе Затона с юго-запада на запад в сторону р. Тисы. В период паводков подземный поток, в результате подпора подземных вод, принимает северо-западное и западное направление. В северной части террасы на границе ее со второй надпойменной террасой подземный поток направлен с северо-востока на юго-запад со стороны второй надпойменной террасы. По данным откачки из строительных котлованов притоки воды превышали 100 м³/час, при этом значительная подпитка наблюдалась со стороны озер. Водоносный горизонт играет основную роль в вопросах обводнения западной части соляного месторождения.

Воды второй надпойменной террасы занимают значительную площадь, распространены в пределах восточной части и южной окраины соляного купола и играют значительную роль в формировании гидрогеологического режима месторождения. Дренируется, главным образом, водоулавливающими сооружениями, источниками вдоль южного склона и перетоком в первую надпойменную террасу. На участке Затон, где происходит слияние подруслового потока с потоками первой и второй надпойменных террас, воды второй надпойменной террасы, поступающие с востока, насыщены хлористым натрием в результате прохождения непосредственно по соляному зеркалу.

Следует отметить, что наряду с преимущественно атмосферным питанием надсолевых горизонтов, в формировании аномальных высоких притоков околосолевых вод, режимов подтопления и заболачивания территорий существенную роль играют напорные воды коренных пород, которые поступают с более глубоких горизонтов. В пользу этого предположения говорит тот факт, что в первые дни катастрофического поступления воды в Верхневосточный штрек (дебит ~200 м³/час при плотности рассола 180 г/л), приток сопровождался интенсивным выделением газа с резким запахом нефти.

В районе Солотвинского месторождения соли открыто перспективное Солотвинское месторождение углеводородов [1], нефтегазоматеринскими толщами для которого послужили

обогащенные органикой меловые и палеогеновые терригенные флишевые отложения в основании Закарпатского прогиба. Суфлярные выделения горючих газов, сопровождавшиеся «гейзерными» излиями напорных вод, неоднократно фиксировались в горных выработках солерудника.

Процесс фильтрации напорных вод в пределах Солотвинского месторождения носит ярко выраженный нестационарный характер, который проявляется в виде возмущений давления $p = p(x, y, z, t)$ и волнообразных перемещений в пространстве границ обводненного пространства или напоров $h = p(x, y, z, t)$ [12].

В условиях упругого режима фильтрации, т. е. фильтрации слабосжимаемой жидкости в упругодеформируемых горных породах, функция распределения давлений $p = p(x, y, z, t)$ описывается уравнением Фурье [13]

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \nabla^2 p = \chi \left(\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где коэффициент $\chi = \left(\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_m} \right)^{-1}$ называется коэффициентом пьезопроводности,

а параметры K_p и K_m являются модулями всестороннего сжатия воды и сухой пористой породы.

В этом случае водоотдача напорных водоносных горизонтов может быть вызвана сжатием породы при увеличении эффективных напряжений или расширением воды при уменьшении в ней гидростатического давления. Именно эти процессы определяют величины коэффициентов упругоёмкости (η) и упругой водоотдачи горной породы (μ):

$$\eta = \rho \left(\frac{n}{K_p} + \frac{1-n}{K_m} \right) \quad (2)$$

$$\mu = \eta m, \quad (3)$$

где ρ – плотность воды; n – пористость; m – мощность напорного горизонта.

Для напорных горизонтов упругоёмкость определяет не только ёмкостные свойства пластов, но характеризует величину запаздывания передачи напоров в водонасыщенном массиве. Максимальной упругоёмкостью обладают глинистые породы ($\eta = 10^{-4} \dots 10^{-3} \text{ м}^{-1}$). Поэтому в условиях наличия отработанных полостей выходы под четвертичные отложения крутопадающих аргиллитоподобных глин, с нашей точки зрения, представляют собой наиболее опасные участки для проявления техногенных сосредоточенных деформаций на Солотвинском месторождении.

Подобно тому, как при вскрытии напорных вод скважинами и снижении напоров при откачках происходит разуплотнение воды с одновременным упругим расширением пород, под влиянием которого вода как бы выдавливается из пласта в скважины (водозаборные сооружения), в условиях упругого дилатационного разуплотнения горных пород в области пулл-апарта происходит рост пьезометрических напоров за счет отжима и миграции вод с глубоких компрессионно-напряженных горизонтов месторождения.

Таким образом, особое структурно-тектоническое положение Солотвинской купольной структуры на участке пулл-апарта определило характер не только активных движений соляных масс на неотектоническом этапе развития структуры, но и оказывает влияние на геодинамический режим эксплуатации месторождения.

В условиях современной правосторонней активизации сдвиговой зоны ЗСЗ-ВЮВ «карпатской» ориентировки и создания кинематической обстановки локального присдвигового растяжения – разуплотнения массива в районе месторождения возникают специфические условия для подъема – субвертикальной миграции напорных вод с глубоких горизонтов месторождения. Наиболее вероятно, что основными каналами для движения подземных вод в пределах

Солотвинского месторождения каменной соли служат субмеридиональные трещины растяжения и эмбриональные аналоги пулл-апартов с характерной Z-образной геометрией, характерной для зон правого сдвига. При этом, пространственно-временная невыдержанность напора может свидетельствовать о значительном влиянии литологических барьеров проницаемости в существенно неоднородной соленосной толще, а также существовании волн давления, возникающих при перетекании (перколяции [14]) воды в поры после эвакуации углеводородных газов.

Библиографический список

1. Крупський Ю. З. Закарпатський прогин – нова газоносна область України // Геол. журн. – 1992. – № 5. – С. 70–75.
2. Tchalenko J.S. Similarities between shear zones of different magnitudes // Bull. Geol. Soc. Am. – 1970. – Vol. 81. – P. 1625–1640.
3. Sylvester A. G. Strike-slip faults // Bull. Geol. Soc. Am. – 1988. – Vol. 100. – P. 1666–1703.
4. Allen Ph. A., Allen J. R. Basin analysis. Principles and applications. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1990. – 451 p.
5. Привалов В. А. Принципиальная дислокационная зона Донбасса // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірн.-геол. – 2001. – Вип. 36. – С. 34–40.
6. Привалов В. А. Закономерности развития малоамплитудной тектонической нарушенности угольных пластов и ее прогнозирование (на примере Донецко-Макеевского района Донбасса). Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.16. – Ленинград: ВСЕГЕИ им. Карпинского. – 1987. – 23 с.
7. Auydin A., Nur A. Evolution of pull-apart basins and their scale independence // Tectonics. – 1982. – Vol. 1. – P. 91–105.
8. Тевелев Ал. В., Тевелев Ар. В., Кошелева И. А., Гроховская Т. Л. Динамика сдвиговых магматических дуплексов / Отчет по гранту РФФИ № 96-05-65519. М.: МГУ. – 1998. – 63 с.
9. Привалов В. О. Тектонотермальна еволюція Донецького басейну. Автореф. дис... докт. геол. наук: 04.00.16. – Дніпропетровськ: НГУ. – 2005. – 37 с.
10. Романюк А. Ф., Ярош Е. И., Пикалова С. Д. Формирование химического состава подземных вод Складчатых Карпат, Предкарпатского и Закарпатского прогибов // Проблемы теоретической и региональной гидрогеологии. М.: МГУ. – 1979. – С. 220–223.
11. Романюк А. Ф., Суббота М. И., Пикалова С. Д. Гидрохимическая зональность Закарпатского внутреннего прогиба // Гидрогеохимическая зональность и нефтегазоносность. М.: Наука. – 1988. – С. 114–117.
12. Biot M. A. Mechanics of Deformation and Acoustic Propagation in Porous Media // Journal of Applied Physics. – 1962. – Vol. 33. – P. 1482–1498.
13. Баренблатт К. С., Ентов В. М., Рыжик В. М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра. – 1984. – 208с.
14. Булат А. Ф., Дырда В. И., Привалов В. А., Панова Е. А., Звягильский Е. Л., Фракталы в геомеханике.– К.: Наук. думка, 2007. – 392 с.

© Привалов В. А., Панова Е. А., 2008.