

УДК 551.24

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-2-26-32

ХАРАКТЕР ТРЕЩИНОВАТОСТИ В МОЗЫРСКОМ СОЛЯНОМ ПОДНЯТИИ (ГОМЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

Дмитрий Сергеевич Зыков¹✉, Антон Владимирович Полещук²,
Елена Анатольевна Котова³, Алексей Олегович Агибалов⁴,
Екатерина Алексеевна Мануилова⁵, Алексей Александрович Хмаренко⁶

¹ ООО «Газпром геотехнологии»; Геологический институт РАН, Москва, Россия; d.zykov@gazpromgeotech.ru

² Геологический институт РАН, Москва, Россия; anton302@mail.ru

³ ООО «Газпром геотехнологии», Москва, Россия; e.kotova@gazpromgeotech.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова; Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; agibalo@yandex.ru

⁵ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; manuiloваekaterina139@gmail.com

⁶ ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» филиал «Молодечненское УБР», Молодечно, Республика Беларусь; a.hmarenko@btg.by

Аннотация. Закономерности внутреннего строения соляных поднятий в настоящее время исследованы недостаточно. Анализ формы полостей, полученных методом звуколокации в полостях, размытых в Мозырском куполе в Белоруссии, показывает, что их стенки в некоторых случаях имеют прямолинейную форму, а форма полости в горизонтальных сечениях выглядит как многоугольник. Опыт предыдущих исследований позволил предположить, что появление прямолинейных стенок связано не только с наличием нерастворимых прослоев, но и с препарировкой систем трещин. Взаимное расположение трещин и полостей указывает создавшее их поле напряжений. Эксперименты по растворению шtuффов солей подтверждают большую роль трещин в образовании рельефа стенок из соли.

Ключевые слова: Мозырский купол; массив солей; технологические полости размыва; звуколокация; опыты по растворению соли; трещины

Для цитирования: Зыков Д.С., Полещук А.В., Котова Е.А., Агибалов А.О., Мануилова Е.А., Хмаренко А.А. Характер трещиноватости в Мозырском соляном поднятии (Гомельская область, Республика Беларусь) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 26–32.

THE NATURE OF FRACTURING IN THE MOZYR SALT UPLIFT (GOMEL REGION OF BELARUS)

Dmitry S. Zykov¹✉, Anton V. Poleshchuk², Elena A. Kotova³, Alexey A. Agibalov⁴,
Ekaterina A. Manuilova⁵, Alexey A. Khmarenko⁶

¹ LLC “Gazprom Geotechnologies”, Moscow, Russia; Geological Institute RAS, Moscow, Russia; d.zykov@gazpromgeotech.ru

² Geological Institute RAS, Moscow, Russia; anton302@mail.ru

³ LLC “Gazprom Geotechnologies”, Moscow, Russia; e.kotova@gazpromgeotech.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Schmidt Earth Physics Institute RAS Moscow, Russia; agibalo@yandex.ru

⁵ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; manuiloavaekaterina139@gmail.com

⁶ OJSC “Gazprom transgaz Belarus” branch “Molodechno UBR”, Molodechno, Republic of Belarus; a.hmarenko@btg.by

Abstract. The regularities of the internal structure of salt uplifts have not been studied enough at present. Analysis of the shape of the cavities obtained by sonar in the cavities blurred in the Mozyr dome in Belarus shows that their walls in some cases have a rectilinear shape, and the shape of the cavity in horizontal sections looks like a polygon. The experience of previous studies suggests that the appearance of rectilinear walls is associated not only with the presence of insoluble interlayers, but also with the preparation of crack systems. The relative location of fractures and cavities suggests the stress field that created them. The conducted experiments on the dissolution of salt dams confirm the great role of fractures in the formation of the relief of salt walls.

Keywords: Mozyr dome; salt array; technological erosion cavities; sonar; salt dissolution experiments; cracks

For citation: Zykov D.S., Poleshchuk A.V., Kotova E.A., Agibalov A.O., Manuilova E.A., Khmarenko A.A. The nature of fracturing in the Mozyr salt uplift (Gomel region of Belarus). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 2; 26–32. (In Russ.)

Введение. Проявления соляного диапиризма в различных районах Земли изучены в значительной степени. В то же время в этой области остаются проблемы, освещение которых требует исследований и может быть актуально с практической точки зрения. Эти проблемы касаются закономерностей строения внутренних частей соляных поднятий, которые в настоящее время изучены значительно меньше, чем процесс течения солей и их внедрения в вышележащие слои в целом, с внешних позиций. В частности, речь идет о выявлении характера имеющейся трещиноватости в соляных куполах, понимание закономерностей которой в ряде случаев может пояснять характер отклонения формы подземных емкостей, создаваемых путем размыва солей, от проектируемой. Цель статьи — попытка сделать вклад в решение этого вопроса на примере Мозырского соляного купола, в литературе рассматриваемого как криптодиапир [Конищев, 1975, 1984]. В задачи исследования входит обоснование возможности применения результатов звуколокации, дающих представления о форме подземных емкостей, образованных технологическим размывом.

В качестве методического подхода проанализированы горизонтальные и вертикальные сечения подземных емкостей, полученные при звуколокации, выполнено их интерпретирование для поиска в соляном массиве неоднородностей, препятствующих растворению солей. Для понимания характера этих неоднородностей проанализированы результаты растворения фрагментов керна (штуфов) соли в лабораторных условиях.

Геологический очерк Мозырского предтриасового соляного криптодиапира. Объект исследования расположен в Мозырском районе Гомельской области (Белоруссия) (рис 1, а). Мозырский купол входит в состав протяженного субширотного Сколодинского вала, расположенного над Шестовичско-Сколодинской тектонической ступенью фундамента, находящейся в центральной части Припятского прогиба герцинского возраста [Конищев, 1975, 1984]. Для производственных целей Мозырский купол длительное время изучали с помощью бурения и геофизических методов. Результаты отражены в производственных отчетах белорусских и московских организаций (БелКГРЭ, ВНИИПромгаз и др.) и позволяют понять его общее строение. По кровле соленосных отложений, имеющих девонский возраст, купол представляет собой брахиантклинальное поднятие с размерами 6,5×3,5 км (по изогипсе –1200 м) со сводом широтного простираения и крутым северным склоном, который осложнен взбросом амплитудой около 200 м, смещающим девонские и пермские отложения. По данным геофизических исследований мощность соленосной толщи достигает более 2,5 км. Подошва ее вскрыта бурением на глубине около 4000 м. Комплекс девонских, каменноугольных, пермских и отчасти триасовых пород деформирован и редуцирован процессами соляной

тектоники, однако начиная с мозырской свиты триаса перекрывающие купол мезозойско-кайнозойские породы чехла залегают практически горизонтально. Их общая мощность зависит от положения относительно купола и составляет несколько сотен метров (минимально немного менее 500 м над его центральной частью).

Соленосная толща Мозырского купола представлена каменной солью с прослоями ангидрита, соленосных глин, мергелей, доломитов и известняков. Ядро купола сложено толщей, в которой каменная соль составляет около 80–85%. Падение прослоев преимущественно крутое, достигает 60–90°, реже пологое, 10–30° к горизонту. Угол падения значительно меняется вдоль скважин, направление падения по керну не установлено. Прослои часто сильно тектонизированы — смяты в дисгармоничные складки, будинированы, трещиноваты, несут зеркала скольжения. В солях выделяются области и прослои с разными текстурными и прочностными особенностями — соли консолидированные и рыхлые, с массивной или флюидальной (т.е. тектоногенной) текстурой и т.п. В керне в консолидированных слоях часто отмечают наличие разнонаправленных систем трещин, залеченных солью или выполненными тонкими примазками нерастворимых пород — ангидритов, глин и т.п.

Состояние соленосной толщи геологи считают нерегулярным расположением фрагментов деформированных пластов нерастворимых пород, хаотически «плавающих» в разнородном соляном субстрате, несущем отчетливые следы течения, что отражено во множестве производственных отчетов. Но это не совсем справедливо. В нашей предыдущей публикации о Мозырском куполе, которая была посвящена вопросам его структуры, показано, что расположение пластов компетентных нерастворимых пород, создающих структуру купола, может быть увязано с морфоструктурой верхней погребенной его части и в самых общих чертах установлено [Зыков и др., 2022]. Также показано, что достаточно мощные прослои нерастворимых пород могут бронировать стенки подземных емкостей и определять их форму. В этой статье представлены результаты наших исследований, дополняющие предыдущие и посвященные выявлению характера трещиноватости, присутствующей в настоящее время в соляном массиве и устанавливаемой на мезоуровне, т.е. в масштабе размеров подземных емкостей, диаметр которых составляет обычно несколько десятков метров, и имеют такую же или большую высоту, достигающую 100 м и более.

Материалы и методы исследований. Использованы отчеты о результатах измерений геометрических размеров подземных емкостей, размывных в Мозырском куполе, и определению их объема. Работа выполнена сотрудниками НПО ПОИСК (г. Санкт-Петербург) в 2000-х гг. Для измерений использовали эхолотационный комплекс СКАНЕР-2000. Все виды

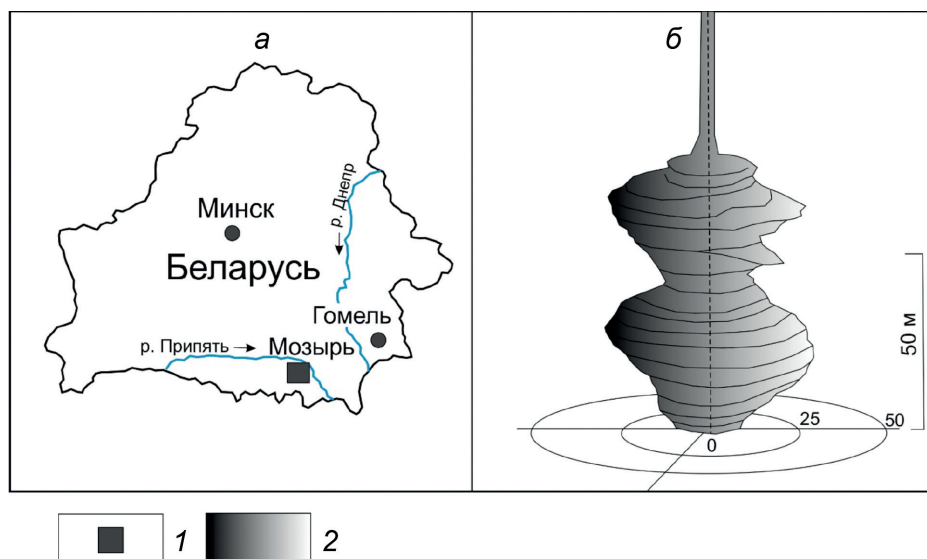


Рис. 1. Предварительная информация о Мозырском криптодиапире: а — местоположение района работ; б — типичная форма полости размыва: 1 — район работ; 2 — полость размыва в солях

полевых и камеральных работ (во время последних графически восстанавливалась форма полостей в сечениях) проводили в соответствии с методикой контроля формы подземной выработки методом звуколокации, разработанной в институте ВНИИПромгаз и рекомендованной к руководству при производстве аналогичных работ нормативными документами.

Результаты исследований и их обсуждение.

В районе Мозырского купола звуколокации подвергались все размывные полости, собран богатый материал по их строению. Приведем наиболее показательные для наших целей примеры (рис. 2, а–з). Вертикальные разрезы технологических полостей имеют обычно осложненную веретенообразную форму (рис. 1, б). Горизонтальные же сечения в классических случаях имеют изометричную или эллипсовидную, слабонарушенную форму (рис. 2, а). Однако, как отмечено в работе [Зыков и др., 2022], на горизонтальных сечениях полостей отдельных скважин наблюдаются прямолинейные отрезки стенок, которые с горизонтальным смещением в пространстве переходят с одного уровня глубины на другой. С учетом формы вертикальных сечений полостей и данных о наличии и падении нерастворимых слоев в керне их можно интерпретировать как проявление в полости достаточно мощных прослоев несоленых пород, бронирующих стенки полости от размыва. Однако на подобных сечениях мы видим и другую особенность полостей, которая нами ранее не обсуждалась. Это проявление на части из них не одной прямолинейной стенки, а двух или нескольких, расположенных под разными, в том числе ортогональными углами (рис. 2, б). Такая картина заставляет считать, что прямолинейные отрезки стенок полости возникают не только за счет бронирования слоями нерастворимых пород. Опыт многолетних обследований геологических обнажений, сложенных различными породами, позволил уверенно предположить, что наблюдаемые внешние характеристики рисунка расположения

стенок в плане отвечают проявлениям систем трещиноватости. Наличие ее в солях подтверждается в кернах, а в полостях, видимо, выходит на другой, более масштабный уровень.

Рассмотрим характеристики наблюдаемого явления на примере горизонтальных сечений полостей, отстоящих друг от друга по вертикали на 2 м и взятых в разных скважинах на информативных с точки зрения задач статьи интервалах. На рис. 2, а представлено типичное сечение полости в однородных солях, обусловленное в основном технологическими процессами равномерного размыва. На рис. 2, б, наоборот, в ярком виде иллюстрирована сложная форма полости, в которой в стенках в сечении наблюдаются прямолинейные отрезки, свидетельствующие о существовании в массиве солей разнонаправленных преград движению растворителя. Их мы предварительно определяем как трещины или трещины и пласт нерастворимых пород. В некоторых случаях сравнение формы полостей на разных глубинных срезах позволяет установить на определенном вертикальном интервале длину трещин, степень их наклона между сечениями и отклонения в горизонтальной плоскости (искривление) по всему интервалу, где они наблюдаются.

Так, на рис. 2, в, г, д показаны три из ряда расположенных подряд горизонтальных сечений, охватывающих интервал 8 м. На них, кроме овального сечения центральной части технологической полости, наблюдается ее выступ в юго-западном направлении, ограниченный прямолинейными стенками, имеющими видимую горизонтальную длину до 10–15 м, согласно нашему предположению, выступ отвечает системам трещин. Одна из них имеет на верхнем по разрезу сечении юго-западное простирание, а другая — южное. На рис. 2 хорошо видно, что при переходе от сечения к сечению вниз по разрезу происходит постепенное изменение пространственного положения стенок, которые раздвигаются, увеличивая объем полости. Такое схожее простирание стенок в сближенных сечениях

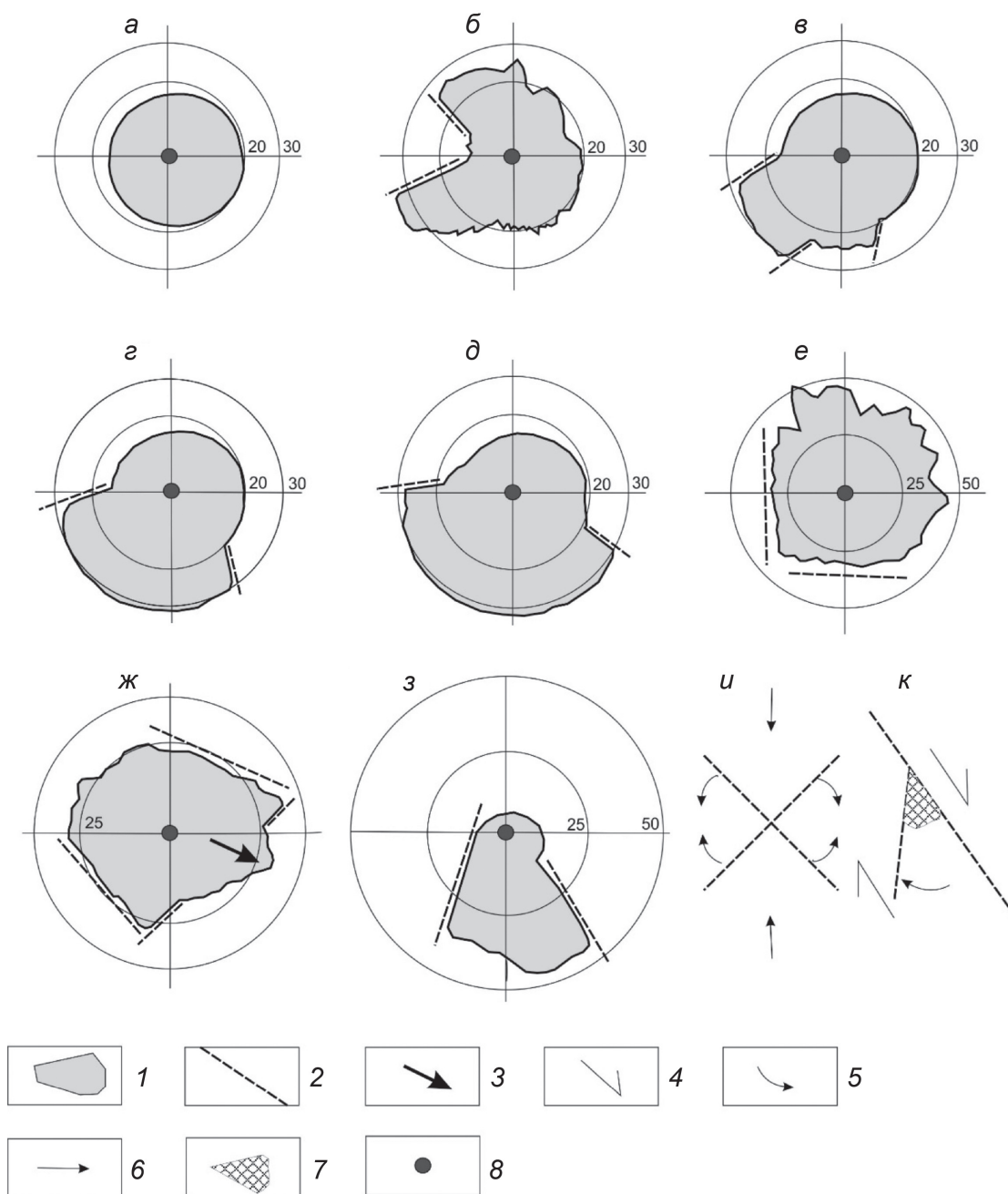


Рис. 2. Поведение трещиноватости в соляных куполах по материалам анализа горизонтальных сечений технологических полостей размыва: а — идеальное сечение; б — осложненное блоковой делимостью массива; в, г, д — прорыв растворителя в направлении участка соли с повышенной растворимостью и разработка камеры, ограниченной трещинами; е — препарировка раствором двух ортогональных трещин в размываемой полости; ж — зафиксированный в сечении стенки прорыв раствора из полости, ограниченной системой трещин; з — преимущественный размыв углового блока сложенного солью с повышенной размываемостью; и — поворот трещин при сплющивании массива; к — разворот трещины и появления области растяжения в сдвиговом поле деформации 1 — сечение полости размыва; 2 — трещины; 3 — прорыв раствора; 4 — сдвиг; 5 — направление поворота трещин; 6 — направление сжатия; 7 — область растяжения; 8 — сечение скважины.

и однонаправленное закономерное изменение их положения в пространстве показывает, что растворение обнажает в массиве соли единые протяженные плоскостные структуры, наклоненные или искривленные в пространстве. Одна из этих структур может быть пластом нерастворимых пород, а другая (или другие) — нет.

Подобные структуры часто наблюдаются в обнажениях пород на земной поверхности и обычно

представляют собой трещины, поверхности которых наклонены или искривлены. Отметим также, что еще ниже по разрезу обе описываемые системы постепенно переходят в одну, имеющую северо-западное простирание. Мы не иллюстрируем этот переход, однако на базе собственного опыта утверждаем, что подобные явления также характерны для трещиноватости. На сечении, приведенном на рис 2, в, кроме двух основных прямолинейных стенок, описанных

выше, в районе бокового расширения полости прослеживается сравнительно более короткая стенка. Она параллельна стенке северо-восточного простираения, ниже по разрезу она уже не наблюдается, однако ее присутствие свидетельствует о том, что процессы размыва выявляют существование не единичных преград в массиве соли, а их систем, что тоже характерно для трещиноватости.

В качестве другого примера существования нескольких пересекающихся субвертикальных неоднородностей в солях приведем горизонтальные сечения полости, взятые через 1 м в одной из скважин. Здесь на вертикальном интервале примерно 5 м выделены срезы полости с похожим рисунком сечения в плане. На срезе, показанном на рис. 2, е, картина наиболее четкая и однозначная, а на остальных она несколько расплывается, но при общем сохранении формы. Здесь прямолинейностью выделяются ортогональные одна другой западная и южная стенки, которые, скорее всего, связаны с трещинами. По-видимому, при переходе с уровня на уровень по глубине они практически не смещаются по горизонтали, т. е. почти вертикальны. В то же время известно, что слоистость толщи имеет наклонный характер.

Горизонтальные сечения в технологических полостях в отдельных местах позволяют фиксировать динамику распространения растворителя в полости, а именно наблюдать «фотографию» прорыва им плоскостной преграды. Подобный процесс отражен на рис. 2, ж. Здесь показан срез полости. Он угловатый, можно предположить, что за счет препарирования растворителем системы трещин в массиве. На его юго-западной стенке наблюдаются два подстраивающихся по одной прямой отрезка, принадлежащих одной трещине, а между ними, в разрыв, выходит языковидный апофиз полости (ситуация прослеживается и на соседних сечениях). Эта картина отражает ситуацию, когда растворитель сначала зачистил плоскость трещины, а потом прошел сквозь нее. В некоторых случаях характер прорывов растворителя помогает получить сведения о строении и состоянии массива солей.

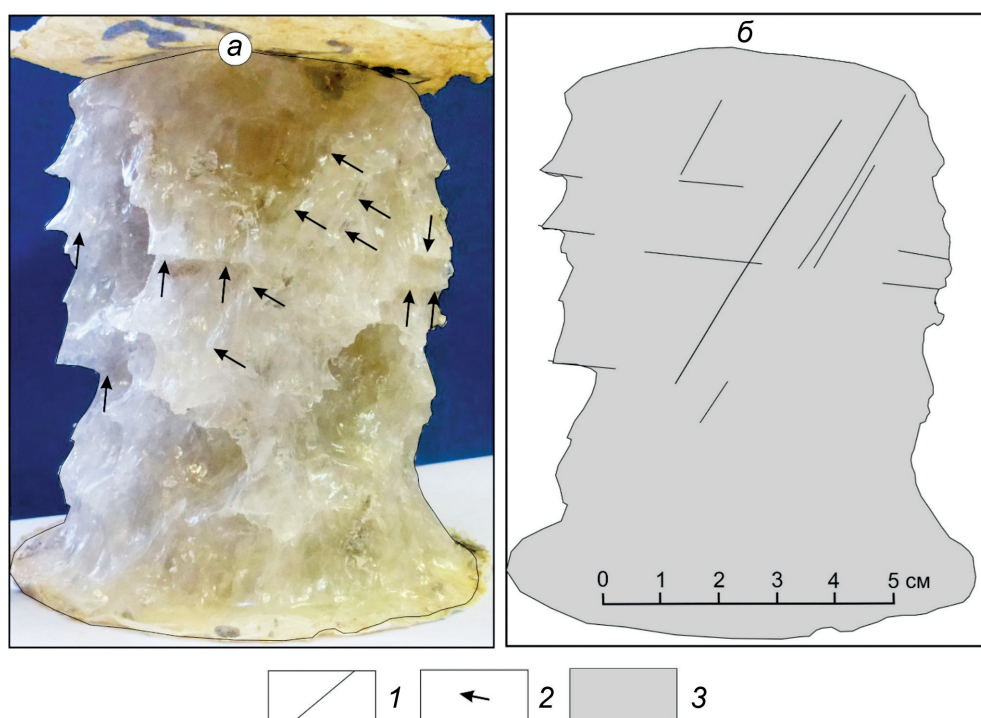
На горизонтальных сечениях технологических полостей довольно часто отражены боковые прорывы растворителя за пределы полостей, имеющие форму, близкую к идеальной. Подобная картина отражена на описанных нами выше сечениях полости рис. 2, в, г, д. Еще один подобный яркий пример можно привести в полости на рис. 2, з. В обоих случаях мы наблюдаем прорывы в сторону из центральной, изометричной в плане части полости, и форма прорыва ограничена прямолинейными сходящимися к полости стенками. Из такого характера прорыва можно сделать ряд заключений о строении массива солей. Можно уверенно предположить, что такой прорыв происходит при встрече растворителем более податливого для размыва объема солей. Объем этот имеет трещинные ограничения (или как мини-

мум одно трещинное ограничение и нерастворимый пласт), и поэтому его стойкость к размыву нельзя объяснить слоистостью (т. е. разным составом в седиментации). Скорее всего, растворитель выявляет блоковое строение массива, размывая блоки, на которые массив нарезала трещиноватость. В этом случае разная прочность блоков обусловлена тектоническими причинами, а именно разной реакцией образованных трещинами блоков на приложенные к массиву тектонические напряжения. Учитывая, что соль быстро залечивается при деструкции, наличие таких ослабленных блоков (участков рыхлой соли, как часто пишут в производственных отчетах) в принципе свидетельствует о продолжающейся деформации соляного массива.

Таким образом, можно вывести некоторые закономерности строения соляного массива, которые устанавливаются при анализе поперечных сечений размывных технологических полостей (приведенных выше в виде примеров и многих других). В массивах соли существуют объемы, где соль достаточно однородна и образует изометричные формы полостей при размыве. В то же время существуют объемы, где большую роль во внутреннем строении играют пласты нерастворимых пород и трещиноватость. Они препарируются растворителем в стенках полости при ее размыве. Падение пластов солей в Мозырском куполе по данным бурения, как правило, наклонное, часто крутое. Падение выделяемых неоднородностей, которые мы считаем трещинами, в основном близко к вертикальному, реже наклонное, т. е. статистически трещины и слои в основном пересекаются. Их размеры, видимо, достигают нескольких десятков метров по вертикали и горизонтали. Крупные трещины на мезоуровне могут сечь слоистость, и их появление связано с причинами большего масштаба, чем деформации в куполе. Поэтому вполне вероятно, что мы наблюдаем платформенную трещиноватость, связанную с общепланетарными явлениями, накладывающуюся на купол при всех стадиях его роста. Трещиноватость обладает определенным пространственным постоянством, но местами, скорее всего, может подстраиваться под дислокации купола. Флуктуации простираций этой трещиноватости объяснимы как влиянием неоднородностей в строении массива соли, так и проявляющейся местами суперпозицией воздействия планетарных и локальных, связанных с собственной подвижностью купола, напряжений.

Интересную интерпретацию можно дать появлению в поле размыва секторов, ограниченных пересекающимися трещинами и имеющих угловидную форму, а также раздвиганию пересекающихся трещин с изменением угла между ними, что обсуждалось выше (см. рис. 2, г, д, з). В научной литературе широко известны опыты по реконструкции образования трещин при наличии одноосного напряжения сжатия. В самом общем виде при таких экспериментах штуды пород (и солей в том числе)

Рис. 3. Трещины в штуфе соли, подвергнутом частичному растворению: а — штуф соли с указанными стрелками следами трещин; б — трещины на схеме штуфа; 1 — соль; 2 — трещины; 3 — стрелки, указывающие местоположение залеченных трещин на поверхности соляного штуфа



подвергаются сжатию на торцах, в результате в них образуются системы пересекающихся диагональных трещин [Гзовский, 1975]. При этом за счет существования разности нагруженности торцов и боковых стенок в штуфе при помощи этих трещин образуются секторы разной степени сжатости — у торцов сильно сжатые, с боков отодвигающиеся и менее сжатые. Однако, по нашему мнению, использовать этот показатель для массивов без дополнительных обоснований проблематично, так как свободного пространства, перпендикулярного сжатию, в массиве нет. Более интересен другой показатель — раздвигание трещин с увеличением угла между ними в месте пересечения. На этом явлении базируется оригинальная методика выявления осей напряжения в массиве пород [Николаев, 1992], которая основана на том, что системы диагональных трещин раздвигаются в стороны от оси сжатия при сплющивании массива (рис. 2, и). Более обоснованным, с нашей точки зрения, представляется объяснение появления областей растяжения в углу между двумя пересекающимися трещинами. Это связано с существованием сдвигового поля, в котором происходит раздвигание трещин с образованием области растяжения между ними (рис. 2, к). Этот подход используется для геодинамических построений, в частности, для обоснования сдвига вдоль главного Уральского разлома с образованием понижений, маркируемых системой треугольных озер, расположенных в углу между основным сместителем разлома и оперяющими разрывами [Бачманов и др., 2001].

Влияние трещин на растворение солей в лабораторных условиях. Выше описано значимое влияние преград, существующих в массиве солей, на процесс растворения. По внешнему облику они

похожи на системы трещин. Однако это утверждение нуждается в обосновании. Для этого рассмотрим материалы лабораторного растворения штуфов солей (рис. 3).

Для экспериментов брали керны, сложенные чистой солью и имеющие диаметр 10 см и высоту около 15 см, которые на специальной подвеске опускали в сосуд с размерами 50×50×50 см с водой на время, уточнявшееся по ходу растворения и составлявшее от часа до нескольких часов. Отметим, что результаты растворения кернов с прослойками нерастворимых пород здесь нами не приводятся и не обсуждаются, так как это отдельная важная работа, решающая другие задачи.

При рассмотрении штуфов солей перед экспериментом и в его процессе на стенках массива соли мы наблюдали системы параллельных, повторяющихся через несколько сантиметров очень тонких прямолинейных полосок толщиной менее миллиметра. Хотя их видно с трудом, но вполне определенно. На полупрозрачной соли они выделяются молочно-белым цветом и не выступают над поверхностью штуфа, т.е. не обладают повышенной прочностью. Видно, что вокруг штуфа полоски представляют собой края плоских поверхностей, осложняющих соль. Их форма и периодичность повторения в пространстве позволяют считать, что это системы трещин, залеченные переотложенной солью (одна из систем может быть послойной). В штуфе, который выбран для иллюстрации, их две — одна горизонтальная, другая наклонная, падающая под углом около 60° к горизонту. Растворение штуфа показало, что эти малозаметные элементы структуры стали играть весьма значительную рельефообразующую роль, хорошо заметную на стенках штуфа (рис. 3,

а, б). Наклонная система определила появление наклонных плоскостей на стенках, а горизонтальная — появление отчетливых козырьков, причем по мере увеличения времени растворения их контрастность только нарастала. Если сравнить толщину этих неоднородностей с размерами образованных плоскостей, то они отличаются в десятки раз. Получающаяся картина интересна, так как залеченные трещины не менее прочные, чем основной массив соли. Однако их рельефообразующее влияние не вызывает сомнений. Несмотря на то, что трещины при детальном рассмотрении представляют собой в лучшем случае зазор волосяной ширины без всяких заполнений, они нередко служат мощным экраном против денудации, особенно когда образуют сгущения.

Таким образом, материалы исследования штуфов солей путем выщелачивания позволили выявить наличие в солях системы пересекающих залеченных трещин, которые, не обладая повышенной прочностью, при растворении субстрата играют значительную роль в образовании контрастного рельефов стенок полостей, бронируя их. На уровне штуфа эту роль играют отдельные трещины, и можно предположить, что на уровне рельефа стенок полостей эту же роль играют места сгущений таких трещин.

Заключение. В массивах соли существуют объемы, где значительную роль во внутреннем строении играют пласты нерастворимых пород и трещиноватость. В стенках полостей технологического размыва в солях иногда наблюдаются прямолинейные стенки, которые на горизонтальных сечениях выглядят как прямые отрезки. Их совокупное расположение в пространстве позволяет уверенно предположить, что их происхождение связано с препарированием

растворителем пластов нерастворимых пород или систем трещин. На основании сравнения формы и пространственного расположения стенок на разных по глубине срезах (уровнях) можно установить характер миграции простирающихся трещин, их наклон и длину, которая, по нашим данным, достигает нескольких десятков метров. Судя по размерам трещин и их преимущественной субвертикальной ориентировке, вполне вероятно, что причина их появления заключается в планетарных явлениях, иногда осложненных суперпозицией с локальными напряжениями, связанными с продолжающимся развитием купола.

Появление в полостях размыва камер, ограниченных прямолинейными стенками, свидетельствует о том, что массив солей нарезан на блоки, которые обладают разной внутренней прочностью, обуславливающей сопротивляемость к размыву, независимо от соотношения со слоистостью. Прямолинейные границы свидетельствуют об их происхождении за счет трещин или пластов нерастворимых пород. Форма боковых камер, осложняющих полости, с опорой на известные тектонофизические эксперименты, в отдельных случаях позволяет реконструировать стационарные или сдвиговые поля напряжений, существующие в соляном массиве. Эксперименты с размывом соляных кернов показывают большую роль имеющихся в соли залеченных трещин в формировании контрастного рельефа стенок штуфов, что подтверждает предположение о происхождении прямолинейных стенок в полостях размыва.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках Государственных заданий ГИН РАН и ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бачманов Д.М., Говорова Н.Н., Скобелев С.Ф. и др. Неотектоника Урала (проблемы и решения) // Геотектоника. 2001. № 5. С. 61–75.

Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с.

Зыков Д.С., Полещук А.В., Котова Е.А. и др. Закономерности строения Мозырского Соляного криптодиапира (Гомельская область Белоруссии) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. № 5. С. 28–34.

Конищев В.С. Соляная тектоника Припятского прогиба. Минск: Наука и техника, 1975. 150 с.

Конищев В.С. Сравнительная тектоника областей галокинеза древних платформ / Под ред. Р.Г. Гарецкого. Минск: Наука и техника, 1984. 190 с.

Николаев П.Н. Методика тектоно-динамического анализа. М.: Недра, 1992. 295 с.

Статья поступила в редакцию 20.10.2022,
одобрена после рецензирования 02.11.2023,
принята к публикации 22.05.2023