

Экскурсия 17

САМЫЕ ДРЕВНИЕ СОЛИ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО ЭВАПОРИТОВОГО БАССЕЙНА ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ

Л. В. Кулешевич

Ведущий научный сотрудник ИГ КарНЦ РАН,
канд. геол.-минер. наук, доцент ПетрГУ,
руководитель научной темы
музея геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН

А. В. Первунина

Старший научный сотрудник,
ученый секретарь ИГ КарНЦ РАН,
канд. геол.-минер. наук, доцент ПетрГУ

Место: дер. Улитина Новинка,
в 4 км южнее г. Кондопоги

Координаты: 62.0921, 34.2427

Как посетить: самостоятельно или с экскурсоводом
из Института геологии КарНЦ РАН



Схема маршрута:

1 – Вашозеро; 2 – Улитина Новинка, ОПС

Онежская палеопротерозойская структура площадью 40 тыс. км² расположена на границе Карелии с Ленинградской и Вологодской областями и представляет собой *мульду*, ограниченную гранито-гнейсовым фундаментом. Комплекс вулканогенно-осадочных пород в этой структуре сформировался в интервале 2.5–1.7 млрд лет геологической истории. Геологическое строение Онежской структуры детально изучено благодаря хорошей доступности и обнаженности коренных пород по берегам Онежского озера.

Мульда (*mulde* – корыто с нем.) – изометричная овальная геологическая структура синклинального, корытообразного строения.

Синклиналь – вогнутая складка, ядро которой сложено более молодыми породами, а слои на крыльях наклонно падают навстречу друг другу (при ненарушенном залегании) (Геологический словарь, 1973).

На территории Онежской структуры начиная с 1930-х гг. было пробурено около 1000 скважин для обеспечения картировочных работ различного масштаба, построения опорных разрезов и разведки месторождений полезных ископаемых (шунгитоносных сланцев, шунгитов, уран-ванадиевых руд и др.). В 2008 г. ОАО НПЦ «Недра» (г. Ярославль) в западной части Онежской структуры, в 40 км севернее г. Петрозаводска, к юго-востоку от г. Кондопоги была пробурена Онежская параметрическая скважина (ОПС) (62°0921'с.ш., 34°2427'в.д.) – самая глубокая в Карелии – 3537 м (рис. 1). Скважина впервые вскрыла непрерывный разрез осадочно-вулканогенных толщ палеопротерозоя, включающий главные породные комплексы (стратоны) ранних карелид, представленные ятулийским, людиковийским и калевийским надгоризонтами



Рис. 1. Онежская параметрическая скважина

нажениям и небольшим горным выработкам западного крыла (см. рис. 2). Породы имеют субгоризонтальное залегание с углами падения 1–7°. К юго-востоку угол падения пород постепенно увеличивается до 15–20° в связи с общим погружением в этом направлении оси структуры. Вашозерская синклинали входит в небольшую Вашозерско-Гангозерскую синклинорную структуру, в которой ядра синклиналиных складок заполнены кремнистыми отложениями вашозерской свиты.

Отложения этой свиты можно наблюдать, сделав маршрут-пересечение через Вашозерскую структуру (см. рис. 2). В составе свиты преобладают серые псаммитовые песчаники, преимущественно грауваккового состава, включающие прослои щебенчато-аргиллитовых конгломератов. В разрезе встречаются низкоуглеродистые сланцы с содержанием $C_{орг}$ до 5%. В качестве маркирующего отмечен доломит-псаммит-онколитовый горизонт. В естественных обнажениях на о. Монастырском оз. Вашозеро наблюдаются тонкослоистые силициты в переслаивании с силицитовыми конглобрекциями и песчаниками. Общая мощность вашозерской свиты составляет более 170 м.

Онежская параметрическая скважина. Глубокая Онежская параметрическая (ОПС) пробурена в западном борту Вашозерской синклинали (см. рис. 2). Скважина ОПС (рис. 3) на глубине 2115–2944 м пересекла породы яту-

(2.3–1.97 млрд лет) и вошла в граниты фундамента позднеархейского возраста. Керн ОПС находится в кернохранилище г. Ярославля и в сокращенном виде – в экспозиции музея геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН.

Вашозерская синклинали. ОПС расположена в западном борту небольшой Вашозерской синклинали (рис. 2), представленной осадочными породами калевийского надгоризонта (Онежская..., 2011). Строение этой синклинали ранее оценивалось по обнажениям и небольшим горным выработкам западного крыла (см. рис. 2). Породы имеют субгоризонтальное залегание с углами падения 1–7°. К юго-востоку угол падения пород постепенно увеличивается до 15–20° в связи с общим погружением в этом направлении оси структуры. Вашозерская синклинали входит в небольшую Вашозерско-Гангозерскую синклинорную структуру, в которой ядра синклиналиных складок заполнены кремнистыми отложениями вашозерской свиты.

лийского надгоризонта, представленные в своей верхней части доломитами туломозерской свиты, вскрыла отложения суйсарской (инт. 401–656 м) и заонежской свит людикувийского надгоризонта (инт. 656–2115 м) и разрез кондопожской свиты калевия (интервал 5–401 м) (Ахмедов, Крупеник, 1995; Онежская..., 2011).

Туломозерская свита представлена в верхней своей части доломитами, в том числе со строматолитами (Медведев, Макарихин, 2010), переслаиванием доломитистых пелитов и песчаников, полевошпат-кварцевыми пелитами и кварцевыми песчаниками (инт. 2115–2405 м). В нижней части встречаются линзы доломит-магнезитовых пород и псевдоморфозы доломита по ангидриту. В нижней части разреза ятулийские толщи представлены ангидрит-магнезитовыми породами (инт. 2405–2751 м) и каменными солями (инт. 2751–2944 м), залегающими непосредственно на гранитах архейского фундамента (инт. 2944–3500 м). Изотопные датировки, полученные U-Pb-методом по цирконам, выделенным из гранитов, показывают возраст гранитного основания разреза – 2711 ± 17 млн лет. Более



Рис. 2. Геологическое строение Вашозерской синклинали структуры (Филиппов, 2007):

1 – отложения вепсия. Калевийский горизонт, вашозерская свита (2–3): 2 – оолитовые известняки, 3 – песчаники, алевролиты; кондопожская свита (4–5): 4 – углеродистые сланцы, 5 – ритмичнослоистые сланцы; суйсарская свита (6): 6 – вулканиты; 7 – разломы, 8 – опорные скважины 1990 г. и ОПС – Онежская параметрическая скважина; 9 – элементы залегания. Цифры – номера на разрезе. Синклиналильные структуры: ВШ – Вашозерская, ГН – Гангозерская

молодые цифры полученных возрастов указывают на последующую метасоматическую переработку гранитов. Возраст галитовой толщи, определенный изохронным **Rb-Sr методом**, равен 2216 ± 68 млн лет (Онежская..., 2011).

Нижняя подсвита заонежской свиты – существенно осадочная, представлена переслаиванием пестроцветных доломитсодержащих пелитов, туфоалевропелитами, переслаиванием серых доломитов и амфибол-флогопит-альбитовых туффитов, в которых встречаются сульфиды.

Верхнюю подсвиту заонежской свиты слагают мощные вулканические толщи базальтов-долеритов, в которых покровы и силлы достигают мощности от 8–20 м до 35–95 м и разделяются прослоями туфоалевропелитов. Вулканиды чередуются с прослоями черных шунгитовых пород, шунгитоносных пелитов с сульфидами. Людиковийские базальты и долериты относятся к толеитовым базальтам нормальной щелочности (низко- и умереннокалиевым), умереннотитанистым (TiO_2 1.5–2.2%, MgO 7.2%) или с повышенной титанистостью породам (TiO_2 2.1–3.4%, $\text{FeO}_{\text{общ}}$ до 15–17%, MgO 4.4%) (Наркисова, Крупеник и др., 2010). Сульфидное оруденение в шунгитовых толщах представлено прожилково-вкрапленной и прожилковой минерализацией. Состав рудной минерализации достаточно простой – это преимущественно пирит, реже халькопирит, сфалерит, иногда встречаются пирротин, арсенопирит, галенит, пентландит (Онежская..., 2011).

Суйсарскую свиту слагают маломощные (3–15 м) потоки (покровы) пикробазальтов, плагио-пироксеновых порфировых и афировых базальтов. Вулканиды чередуются с прослоями туфов и туффитов (Куликов и др., 1999).

Кондопожская свита в разрезе ОПС представлена аргиллитами, алевролитами и песчаниками, в том числе шунгитсодержащими, в основании преобладают туффиты, туфопесчаники и туфоконгломераты.

По данным работы В. В. Наркисовой по ОПС (Наркисова, 2009; сайт Недр Карелии) установлено:

Онежская скважина вскрыла главные породные типы (стратоны) карелид и докарельский фундамент на глубине до 2944 м.

Углеродистое вещество (УГВ) в карбонатных, терригенных и вулканогенно-осадочных породах Онежской

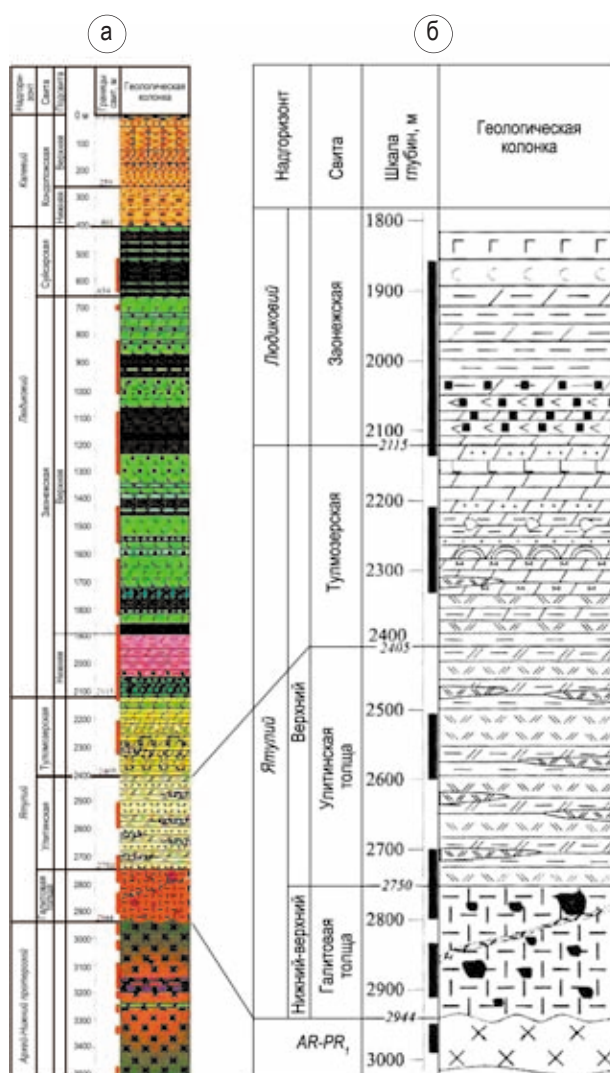


Рис. 3. Породы, вскрытые параметрической скважиной (а), стратиграфическая колонка нижней части протерозойского разреза (б) составлена ОАО НПЦ «Недра», г. Ярославль (Онежская..., 2011; и легенда в ней). По тексту приводится краткое описание толщ

ПС представлено тонко-мелкочешуйчатым шунгитовым веществом в основной массе пород и жильными твердыми битумами – антраксолитами. УГВ распределено в разрезе крайне неравномерно (0.03–55.3% Снк – некарбонатный углерод. – Прим.). Осадочные и вулканогенно-осадочные породы заонежской свиты относятся к доманикитам, максовитам, шунгитам, реже к доманикоидам. Выделены интервалы высокоуглеродистых пород: 1080–1215 м (до 55% Снк), 890–910 м (до 30% Снк), 1420–1430 м (до 34% Снк), 1874–1886 м (до 18% Снк). УГВ имеет сингенетическое (сапропелевое), смешанное (сапропелевое и миграционное) и миграционное происхождение.

Органический углерод имеет изотопно-легкий состав (–33.9...–40.6‰).

Изотопный состав углерода в разрезе ятулия и людиковия в ОПС меняется направленно и закономерно и отражает эволюцию обстановок седиментации в Онежском бассейне в раннем протерозое. Состав углерода меняется в среднем от аномально тяжелого +11.2‰ в магнезитах ангидрит-галитовой толщи, залегающей в основании разреза карелид, к тяжелому +9.8‰ в доломитах туломозерской свиты. В кривозеритах и доломитовых алевролитах изотоп ¹³C меняется от тяжелого (среднее +5.8‰) к нормальному (–0.3‰ ... –16‰). Резко облегченный углерод характерен для углеродисто-карбонатных пород заонежской (–10.0‰) и особенно суйсарской свит (–14.2‰).

Разрез ангидрит-галитовой толщи предварительно можно сопоставить с разрезом туломозерской свиты в восточном Прионежье – с горизонтом гипсов и брекчий долеритов с гипсовым цементом.

Уникальность ОПС заключается в том, что скважиной впервые в интервале 2750.8–2944.0 м под туломозерской свитой вскрыта каменная соль (рис. 4). Это самые древние из известных на сегодняшний день соленосные отложения Земли. Общая мощность соленосной толщи – 193.2 м. Соленосный

интервал разреза ОПС на 70–75% состоит из галита, ангидрита (12–20%) и магнезита (10–15%), присутствуют в виде примеси также сильвин, кварц, полевой шпат (до 2.5%). Ангидрит и магнезит равномерно распределены по всему объему пород. Отсутствие признаков, характерных для осадочных отложений (слоистости или сезонного чередования слоев галита, ангидрита, глин), позволяет рассматривать образование галитовой толщи по модели глубинного «внедрения» солевого диапира.

ЭВАПОРИТЫ: УЛИТИНСКАЯ И ГАЛИТОВАЯ ТОЛЩИ

В составе нижней части разреза туломозерской свиты ятулия были выделены две толщи, представляющие собой типичные эвапоритовые отложения. Ангидрит-магнезитовая массивная толща (см. рис. 3) с прослоями пелитоморфных магнезитов и пестроцветных кварц-полевошпатовых алевролитов с линзами и прожилками альбит-ангидрит-магнезитового состава была вообще впервые обнаружена в Онежской структуре и названа по близко расположенному пос. Улитина Новинка – улитинской толщей. Магнезит

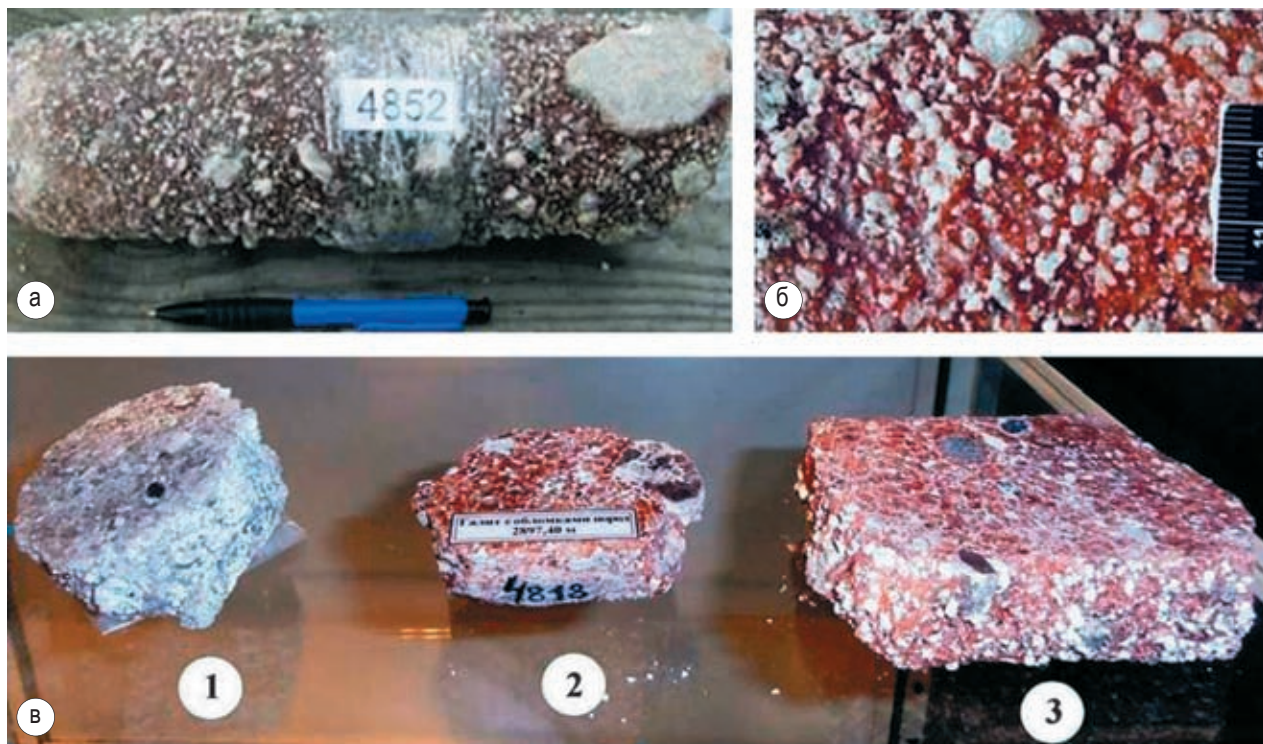


Рис. 4. Образцы соленосной толщи ОПС:

а – керн, б – текстура галитовой толщи (коллекция музея геологии докембрия ИГ), в – образцы солей (1 – 2868.5 м, 2 – 2897.4 м, 3 – 2905.6 м, Шаров, Кузнецов, 2020)



Рис. 5. Усыхающие соляные озера: а – оз. Баскунчак, б – оз. Эльтон

в осадочных карбонатных толщах имеет серо-белый цвет, он тонко- и мелкозернистый, в прожилках – более крупнокристаллический. В нижней части разреза ОПС был также впервые обнаружен пласт каменной соли – галита (хлорида натрия, NaCl) (Морозов и др., 2010) и выделена галитовая толща (Онежская..., 2011). Галитовая толща каменной соли имеет розово-красный цвет (рис. 4), из-за примеси гидроксидов железа и гематита, иногда содержит обломки вмещающих пород и сечется жилами альбит-ангидрит-карбонатного состава. Галит также заполняет поры в верхней части подстилающих толщ гранитов.

Отложения солей (галоиды, сульфаты, карбонаты) обычно накапливаются в усыхающих бассейнах – морях и озерах (рис. 5) и входят в состав отложений, называемых *эвапориты*. К эвапоритам относятся ангидрит-гипсовые и галоидные (галитовые и сильвин-галитовые) толщи, некоторые доломиты.

Эвапориты – это химические осадки минеральных солей, выпавшие на дно бассейна в результате пересыщения растворов (Геологический словарь, 1973). Отложение происходит при испарении воды из сильно концентрированных пересыщенных растворов (или рассолов), называемых рапой, в замкнутых и полужамкнутых водоемах, мелководных лагунах. Особенно интенсивно такие процессы происходят в жарком климате. Обычно эвапориты представлены гипс-солевыми осадками, а также некоторыми известняками.

Соляными называют озера, содержание соли в которых превышает 1 промилле. В таких озерах вода имеет резко соленый вкус, напоминающий морскую воду. Для питья использовать ее нельзя, зато из таких озер можно добывать поваренную соль

и другие минералы, концентрирующиеся в отлагающихся при испарении осадках, в том числе иногда и соду.

Находки галита являются доказательством того, что около 2.3–2.0 млрд лет назад на территории нынешней Карелии в западной части Онежской структуры был мелководный «отгороженный» от основной мульды бассейн. Стоял жаркий климат, испарение преобладало над дождевыми осадками, в результате чего в почве и в донных отложениях произошла высокая концентрация ряда элементов (Ca, Na, K, Mg, Cl, CO₃, SO₄). В природе известны усыхающие *рапные озера* типа Эльтон и Баскунчак, или современные *отшнурованные лагуны* (Крым), богатые хлоридами и водными сульфатами. В таких мелководных водоемах могут отлагаться галит, сильвин, карналлит, эпсомит, бишофит и ряд других минералов (в зависимости от концентрации, состава и температуры). Наиболее крупные хемогенные скопления таких литофильных элементов как Na и K, образуются в виде эвапоритов.

Изучение минеральных ассоциаций карельских эвапоритов (рис. 6), вскрытых ОПС, позволяет нам установить их состав и продемонстрировать формы выделения минералов. *Галит* NaCl образует кубические кристаллы (кристаллический и частично растворенный), встречается в сплошных отложениях, с магнезитом и включениями обломков других пород. *Сильвин* отмечен в единичных зернах. *Магнезит* MgCO₃ образует овальные зерна (ромбоэдры с дополнительными гранями), иногда бывает «покрыт» порошкообразным белым *эпсомитом* MgSO₄*7H₂O. *Ангидрит* CaSO₄ образует мелкие

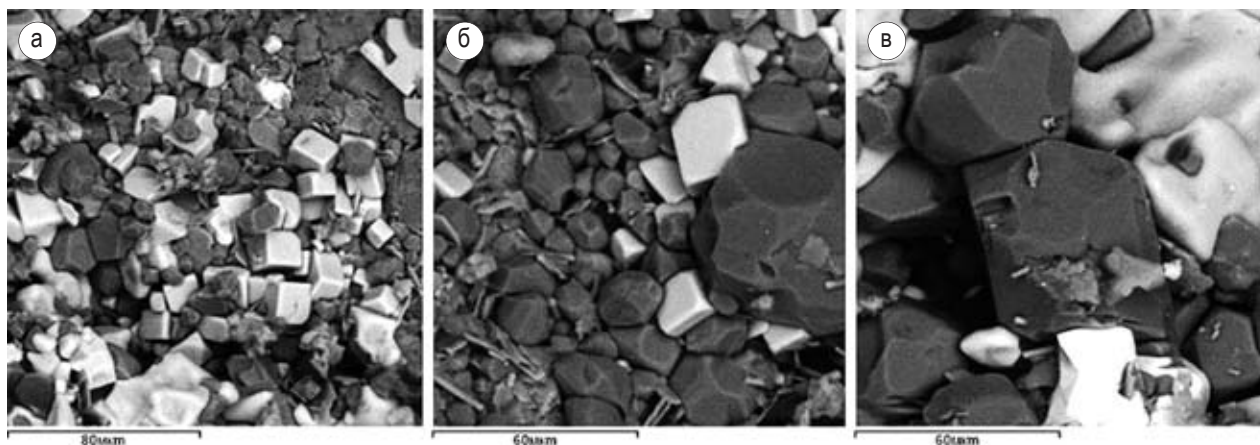


Рис. 6. Эвапориты Онежской структуры (фото в отраженных электронах):

а–в – галит NaCl (белые кубики), магнезит $MgCO_3$ (темно-серые кристаллы), пластинки – хлорит

зерна и типичные ромбоэдры в сростании с магнезитом. Он преобладает в линзах ангидрит-магнезитовой толщи. Соотношение галита и (магнезита+ангидрита) в галитовой толще составляет $\sim 70:30\%$. Соотношение ангидрита и магнезита в среднем $\sim 1:1$ – это $(12–20\%):(10–15\%)$ (Онежская..., 2011).

Ассоциация этих солей сечется и прорастает тонкими пластинками магнезиального хлорита и альбита, иногда гематита и бывает окрашена в красноватый цвет. Прожилки магнезита и ангидрита также бывают окружены альбитом и хлоритом. Вся эта поздняя (гематит-альбит-хлоритовая) минеральная ассоциация может быть связана с более поздним щелочным метасоматозом (свекофеннского этапа), проявившимся в Онежской структуре.

Магнезит чаще всего имеет метасоматический генезис и образуется либо за счет воздействия углекислотных растворов на ультраосновные породы, либо хлоридных растворов – на осадочные кальцит-доломитовые известняки. Сульфаты в эвапоритах представлены ангидритом, эпсомитом (вероятно, более поздним гипергенным минералом) и редким сульфатом магния и натрия. Воздействие хлоридных растворов на доломитовые известняки сопровождается образованием магнезита. Хемогенный ангидрит отлагается при $T_{обр.} > 42\text{ }^\circ\text{C}$, ниже этой температуры образуется гипс. Однако присутствие в растворах NaCl расширяет поле ангидрита: происходит снижение температуры его образования вплоть до $0\text{ }^\circ\text{C}$, тогда как присутствие калия – наоборот, увеличивает эту $T_{обр.}$ Сезонные колебания температуры и состава

в условиях отшнурованных бассейнов могут привести к чередованию толщ, появлению прослоев и линз, как в улитинской толще. Соляные осадки не растворились, а были погребены под накапливающимися позднее вышележащими карбонатными и песчано-глинистыми толщами, причем для галитовой толщи предполагается выжимание вверх с формированием диапира.

Геофизические данные позволили предположить, что ОПС вскрыла только периферийную часть соляного диапира (*диапир – тело в форме перевернутой капли*) и есть реальные возможности прогнозировать нахождение аналогичных залежей соли в Онежской структуре (Есипко и др., 2012). Это предположение подтвердилось благодаря детальному анализу околоскважинного пространства по геофизическим данным, полученным на глубинных сейсмических разрезах. По этим результатам четко прослеживается погружение галитовой толщи в ЮВ направлении, тогда как увеличение ее мощности (до 400–500 м) происходит в ЮЗ направлении. Такой значительный градиент изменения мощности соляной толщи свидетельствует о том, что скважина пересекла крыло диапирового тела (Шаров, Кузнецов, 2020).

Происхождение мощных соляных толщ в земной коре до сих пор остается загадкой. Укоренившееся в сознании геологов представление о солеродных бассейнах, продуцирующих залежи солей, было заложено еще на ранних этапах развития общей геологии М. В. Ломоносовым, Д. В. Наливкиным, Н. М. Страховым, А. А. Яншиным и др.

Запасы хлорида натрия (соли) на Земле практически неисчерпаемы. Запасов одного только месторождения оз. Баскунчак возле Каспийского моря хватит для того, чтобы удовлетворять потребности человечества в пищевой соли в течение 1500 лет. Каменная или поваренная соль всегда была ценным товаром. Первые в мире глубокие скважины (до 2000 м) были пробурены в Китае ради соли. Английское слово «salary» происходит от латинского «sal» – соленый. Это следствие того, что часть жалования римские легионеры получали солью. Поваренная соль издавна употреблялась не только в пищу. Соль – это консервант, который помогает сохранить еду впрок; антисептик, который используется при обработке кожи; составляющая физрастворов в медицине. Соль использует химическая промышленность для получения Na, Cl и производных из них химических веществ, а также металлургия. На Руси соль пищевая ценилась чрезвычайно высоко. Она была основным предметом производства для целых городов и областей. Повышение налогов на эту специю в XVII в. спровоцировало соляной бунт в Москве (Кмета, 2013).

Таким образом, завершая наше путешествие, мы постарались популярно пояснить, что в докембрии в мелководных отшнурованных

заливах вблизи древнего побережья Онежского озера около 2.2 млрд лет назад при испарении воды из насыщенных растворов (рапы) формировались соленосные породы, содержащие галит (NaCl), гипс (CaSO₄), магнезит (MgCO₃). Такие хемогенные осадки называются эвапоритами, а галит – это каменная или поваренная соль, употребляемая нами в пищу, и одновременно химическое сырье.

ОПС подсекла только краевую часть диапира с мощностью галитовой толщи 193.2 м, но геофизики предполагают, что мощность этой толщи может достигать 400–500 м. Находка этих самых древних солей уникальна. И, наверно не случайно то, что с давних времен на Заонежском полуострове были известны соляные источники, из которых местное население поило скот, и существовали соляные ямы, как, например, в Великой Губе.

Экскурсия на Онежскую параметрическую скважину (ОПС) и Вашозеро проводится для студентов ПетрГУ, обучающихся по профилю «Геология» (геологов и геофизиков). С образцами солей можно познакомиться в музее геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- Ахмедов А. М., Крупеник В. А. Литолого-геохимическое изучение опорных разрезов терригенно-карбонатных комплексов раннего протерозоя // Методические рекомендации. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. 63 с.
- Геологический словарь. М.: Недра, 1973. Т. 1. 488 с.; Т. 2. 456 с.
- Есипко О. А., Неронова И. В., Шаров Н. В. Геофизическая характеристика разреза Онежской параметрической скважины / НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС, 2012. Вып. 4 (214). С. 3–18.
- Кмета А. Поваренная соль – самая древняя специя. 2013. Интернет-ресурс SYL.ru
- Куликов В. С., Куликова В. В., Лавров В. С. и др. Суйсарский пикрито-базальтовый комплекс палеопротерозоя Карелии (опорный разрез и петрология). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 96 с.
- Медведев П. В., Макарихин В. В. Строматолитовые постройки в разрезе туломозерской свиты, вскрытом опорными буровыми скважинами в Онежском синклинии // Геология полезных ископаемых. 2010. Вып. 13. С. 144–148.
- Морозов А. Ф., Хахаев Б. Н. Петров О. В. и др. Толща каменных солей в разрезе палеопротерозоя Онежского прогиба Карелии (по данным ОПС) // ДАН. 2010. Т. 435, № 2. С. 230–233.
- Наркисова В. В. и др. Отчет по объекту «Онежская параметрическая скважина». Ярославль, 2009 / Отчет. Петрозаводск. Фонды. Карельский ТФГИ.
- Наркисова В. В., Крупеник В. А., Свешникова К. Ю. Петрогенезис базальтов людиковия Онежской структуры (по результатам бурения Онежской параметрической скважины) // XI Всероссийское петрографическое совещание. 2010. Т. 2. С. 87–88.
- Онежская палеопротерозойская структура (геология, тектоника, глубинное строение и минерогения) / Отв. ред. Л. В. Глушанин, Н. В. Шаров, В. В. Щипцов. Петрозаводск, 2011. 432 с.
- Филлипов М. М. Нигозерские сланцы. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 469 с.
- Шаров Н. В., Кузнецов Ю. И. Возможный механизм формирования соленосной толщи палеопротерозойского возраста Онежской структуры // <http://geoksc.apatity.ru/images/stories/Print/Fersman/Presentations/Sharov%20FNS%202020.pdf>