

УДК 551.3.051

СТРОЕНИЕ И СОСТАВ ТУФОГЕННОГО ПЕПЛОВОГО ГОРИЗОНТА  
ПЕТРИКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙВ. П. САМОДУРОВ<sup>1)</sup>, А. И. ДРУК<sup>2)</sup>, К. Ю. БАЛАШОВ<sup>2)</sup>, Ю. Н. ЕЛЕНСКИЙ<sup>2)</sup><sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь<sup>2)</sup>ОАО «Белгорхимпром», пр. Машиерова, 17, 220029, г. Минск, Беларусь

Обобщены результаты исследований строения и вещественного состава маркирующего пеплового горизонта верхнефаменских отложений в пределах Северо-Шестовичской синклинали Припятского прогиба. Показана связь строения этого горизонта с этапом активизации вулканической деятельности. Установлено, что преобладающими минералами глинизированных туфов являются структурно упорядоченные иллиты политипа 1М. Маркирующий туфогенный горизонт залегает внутри верхнесоленосной толщи в пределах Петриковской синклинали и выходит в надсолевою верхнедевонскую толщу на окружающих территориях.

**Ключевые слова:** вулканический туф; вулканическая активность; иллит политипа 1М; литологический маркер.

STRUCTURE AND MINERALOGICAL COMPOSITION  
OF THE TUFF HORIZON OF PETRIKOV POTASH DEPOSITV. P. SAMODUROV<sup>a</sup>, A. I. DRUK<sup>b</sup>, K. Yu. BALASHOV<sup>b</sup>, Yu. N. YALENSKI<sup>b</sup><sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus<sup>b</sup>Belgorkhimprom JSC, 17 Mašeraŭ Avenue, Minsk 220029, Belarus

Corresponding author: V. P. Samodurov (vladimir\_samodurov@tut.by)

Integrated data of the structure and mineralogical composition of the marking tuff horizon in the Upper-Devonian bed of the North-Shestovich synclinal zone are presented in this paper. Dependence of the tuff bed structure on the volcanic activity stage is revealed. Find out that the prevailing mineral of tuff is the structure-ordered illite 1M. Marked tuff horizon is situated inside the Upper-Devonian salt bed within Petrikov synclinal zone and comes up into the overlaying clay-marl formation of the surrounding geological beds.

**Keywords:** volcanic tuff; volcanic activity; illite 1M; lithological marker.

**Образец цитирования:**

Самодуров ВП, Друк АИ, Балашов КЮ, Еленский ЮН. Строение и состав туфогенного пеплового горизонта Петриковского месторождения калийных солей. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2019;1:119–127.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-119-127>

**For citation:**

Samodurov VP, Druk AI, Balashov KYu, Yalenski YuN. Structure and mineralogical composition of the tuff horizon of Petrikov potash deposit. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2019;1:119–127. Russian.

<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2019-1-119-127>

**Авторы:**

**Владимир Петрович Самодуров** – кандидат геолого-минералогических наук, доцент; доцент кафедры региональной геологии факультета географии и геоинформатики.

**Анатолий Иванович Друк** – заведующий лабораторией геологических исследований.

**Константин Юрьевич Балашов** – заведующий лабораторией гидрогеологических исследований и экологии.

**Юрий Николаевич Еленский** – ведущий инженер лаборатории геологических исследований.

**Authors:**

**Vladimir P. Samodurov**, PhD (geology and mineralogy), docent; associate professor at the department of regional geology, faculty of geography and geoinformatics.

[vladimir\\_samodurov@tut.by](mailto:vladimir_samodurov@tut.by)

**Anatoly I. Druk**, head of the laboratory of geological investigation.

[anatolijdruk@mail.ru](mailto:anatolijdruk@mail.ru)

**Konstantin Yu. Balashov**, head of the laboratory of hydrogeological investigation and ecology.

[kbalashov@bmci.by](mailto:kbalashov@bmci.by)

**Yuriy N. Yalenski**, leading engineer at the laboratory of geological investigation.

[jelenskiy@bmci.by](mailto:jelenskiy@bmci.by)

## Введение

Туфогенные пепловые горизонты являются наиболее надежными региональными маркерами: они образовывались одновременно и распространялись по всей изучаемой территории Припятской впадины. Количество туфогенных прослоев в разрезах скважин и их мощность заметно увеличиваются в восточной части впадины, но и в западной части, в разрезах фаменской соленосной формации Старобинского и Петриковского месторождений, также отмечены туфы и туффиты [1; 2]. Этапы активизации вулканизма, как правило, обусловлены активизацией тектонических процессов, которые оказывали влияние на условия осадконакопления в различных литофациальных зонах Припятской впадины. Именно поэтому самые мощные туфогенные горизонты приурочены в основном к границам литологических толщ и ритмопачек.

Цель данной работы – изучение особенностей строения и состава туфогенного горизонта в разрезе Петриковского месторождения, а также его влияния на водоупорные свойства надсолевой верхнедевонской толщи.

## Объект и методика исследований

Глинизированный туфогенный горизонт отмечен во многих литологических разрезах скважин Петриковского месторождения [2; 3], но здесь приводятся результаты исследований строения и вещественного состава по керну скважины № 1Д и в штуфах пород проходки ствола № 1 Петриковского месторождения калийных солей. Горизонт расположен на границе V и VI ритмопачек (репер Д) сводной литолого-геофизической колонки Петриковского месторождения [4].

Для изучения вещественного состава глинизированного туфа использованы рентгенодифрактометрический анализ (XRD), сканирующая электронная микроскопия (SEM), энергодисперсионный микронзондовый анализ (EDX). Литологическое строение туфогенного горизонта исследовано методами цифровой литостратиграфии [5]. Особенностью этого метода является возможность представлять количественные параметры цветности пород в виде непрерывных диаграмм по разрезу скважин аналогично диаграммам ГИС.

Для анализа цветности пород использовано цветовое пространство  $HSV$ , где  $H$  – тон цвета;  $S$  – насыщенность цвета;  $V$  – величина яркости. В сероцветных породах насыщенность  $S$  цвета мала (менее 5 %) и тон  $H$  становится неопределенным. Тем не менее породы сероцветной надсолевой толщи Припятской впадины хорошо дифференцируются по величине яркости  $V$ . Сульфатные и карбонатные породы выделяются повышенной яркостью по отношению к глинистым породам. Этот эффект позволяет исследовать ритмичность сероцветной формации, основываясь на количественных параметрах цветности пород.

Различные цветовые параметры связаны с разными свойствами пород. Тон и насыщенность цвета осадочных пород в основном обусловлены присутствием в них окислов железа – сильнейших природных хромофоров. Закисное железо имеется во многих глинистых минералах. Оно придает породам зеленоватый оттенок, но насыщенность цвета этих минералов незначительна по сравнению с оксидами железа. Для большинства осадочных пород тон  $H$  сосредоточен в узком диапазоне ( $10$ – $60^\circ$ ) преобладания красных оттенков, но насыщенность  $S$  цвета значительно возрастает в красноцветных породах пропорционально содержанию в них гематита. Этот эффект позволяет выявлять погребенные коры выветривания по профилям окисления пород в надсолевой толще Петриковского месторождения.

Цифровая литостратиграфия не ограничивается использованием какого-то одного цветового пространства. Она использует индикаторы разных свойств пород в виде количественных коэффициентов цветности. Так, на рис. 1 приведены диаграммы  $R$  и  $G$ , отражающие превалирование красных и зеленых оттенков в породах. Диаграмма  $R$  показывает результаты определения коэффициента  $R/B - 1$ . Средняя линия соответствует нулевому значению этого коэффициента, характерному для истинно серых пород, в которых  $R = B$ . Значения  $R > 0$  отражают преобладание красных оттенков в породе. Аналогично диаграмма  $G$  показывает значения  $G/B - 1$  и связана с преобладанием зеленых оттенков вулканогенных пород.

## Строение туфогенного маркирующего горизонта

Строение туфогенного маркирующего горизонта в скважине № 1Д в интервале глубин  $481,80$ – $486,65$  м представлено на рис. 1. Ритмопачка активизации тектонической и взрывной активности хорошо выделяется в разрезе по параметрам цветности. Эта ритмопачка состоит из сероцветных сульфатно-карбонатно-глинистых пород с параметром насыщенности  $S$  менее 5 %, и по этому параметру элементарные слои не выделяются. Однако ритмичность осадконакопления надежно определяется по цветовому параметру  $V$ , связанному с вариацией отражательной способности пород. Вертикальная линия

на диаграмме V отмечает среднее значение величины яркости, и можно видеть, что зона активизации сейсмостектонической активности характеризуется мелкой ритмичностью сульфатно-карбонатно-глинистых пород и туффов, выделяющихся повышенной яркостью по отношению к элементарным слоям глинистых пород. В темноцветных глинистых породах перекрывающей пачки мелкая ритмичность отсутствует, так как эта зона формировалась в тектонически стабильных условиях. Аналогичная пачка темноцветных глинистых пород отмечается в подстилающих породах изучаемого интервала (на рис. 1 эта пачка не показана).

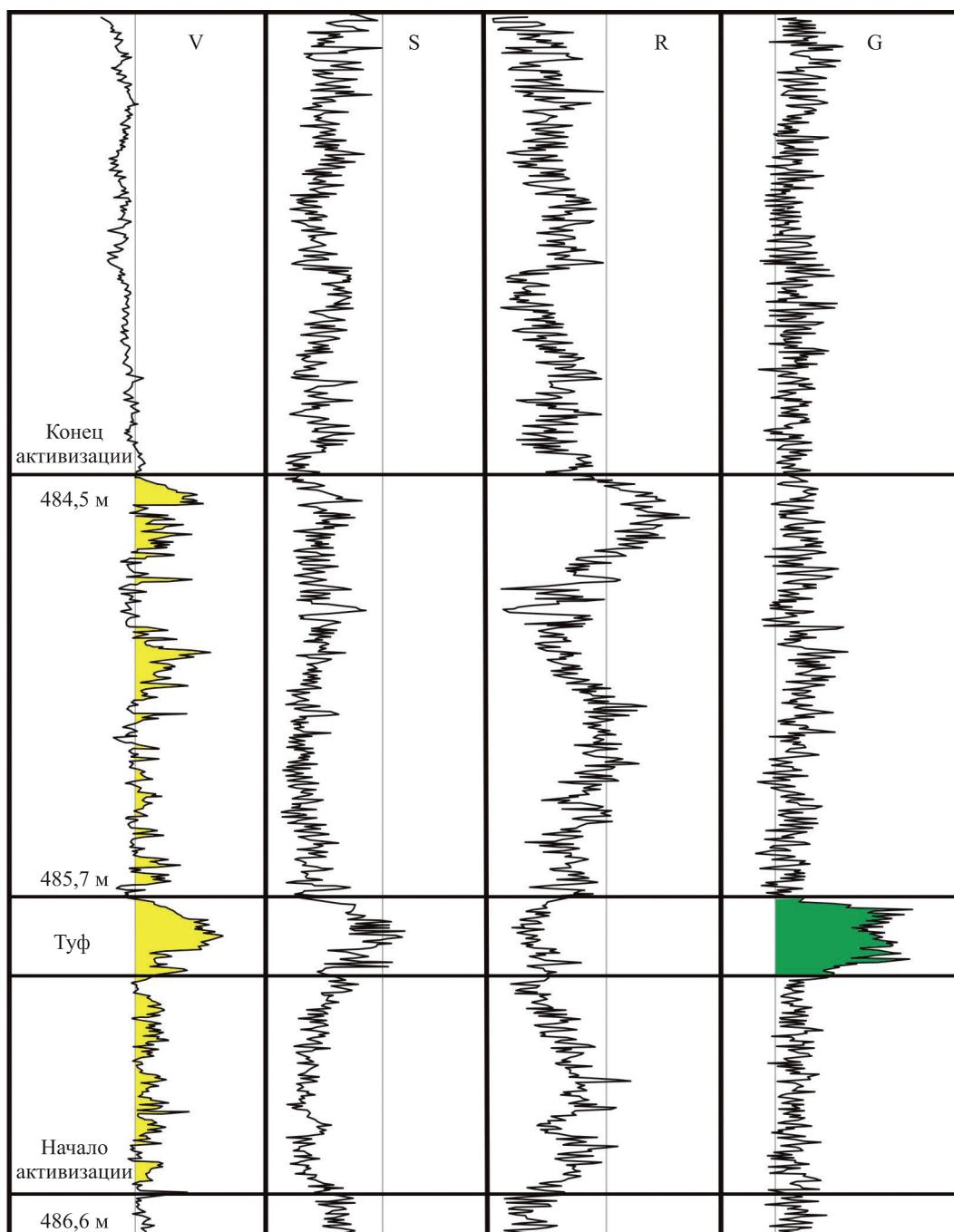


Рис. 1. Цветовые параметры туфогенного маркирующего горизонта в Петриковской скважине № 1Д (глубина 485,70 м):  
*V* – величина яркости; *S* – насыщенность; *R* – параметр  $R/B - 1$ ; *G* – параметр  $G/B - 1$   
 Fig. 1. Color parameters of the tuff marker horizon in the borehole Petrikovskaya 1D (depth 485.70 m):  
*V* – brightness of the rocks; *S* – saturation; *R* – parameter  $R/B - 1$ ; *G* – parameter  $G/B - 1$

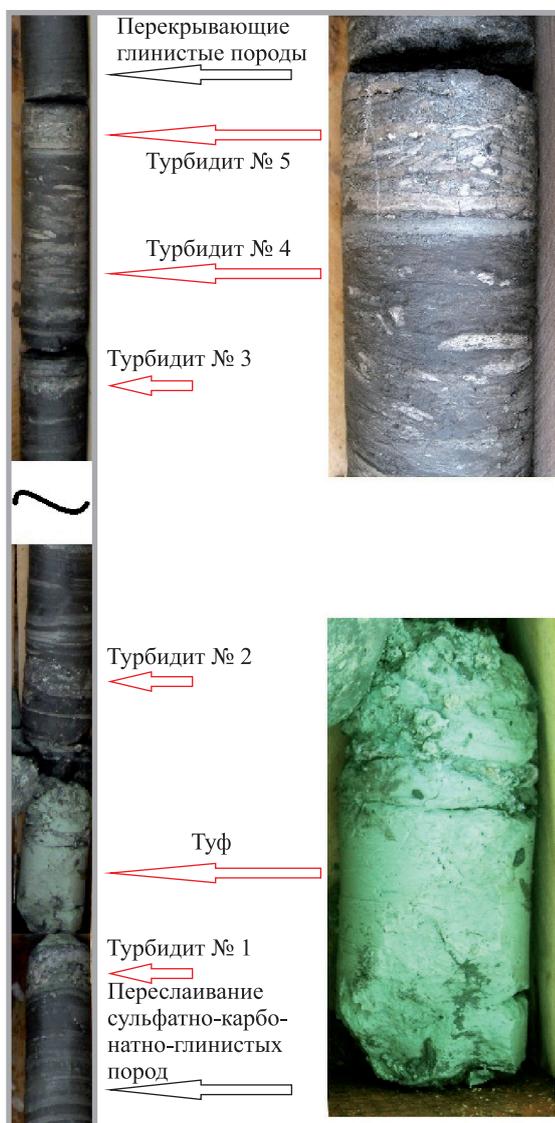


Рис. 2. Распределение турбидитов в пределах туфогенного маркирующего горизонта

Fig. 2. Distribution of the turbidities within tuff marker horizon

Расчеты показывают, что масса выпавшего пеплового материала здесь  $0,75 \text{ т/м}^2$ .

В верхах ритмопачки можно видеть затухающую фазу сейсмоструктурной активности. Здесь присутствуют турбидиты (№ 2–5), а также переслаивание туффитов и нормально-осадочных пород. Наличие сульфатов, карбонатов и туфогенного материала повышает отражательную способность пород, в результате чего диаграмма величины яркости  $V$  в изучаемой ритмопачке может рассматриваться как запись сейсмоструктурной активности. Турбидит № 5 завершает фазу сейсмоструктурной активности. Перекрывающие темноцветные глины известковистые, аргиллитоподобные, имеют неяснослоистую или массивную текстуру и формировались в спокойной сейсмоструктурной обстановке.

### Вещественный состав маркирующего туфогенного горизонта

Вещественный состав глинизированного туфа существенно отличается от состава вмещающих нормально-осадочных пород. Структурно-минералогические исследования показали, что туфы надсолевой верхнедевонской толщи Припятской впадины представлены не смектитами (монтмориллонитами), а структурно упорядоченными иллитами политипа 1M в отличие от структурно неупорядоченных диоктаэдрических иллитов 1Md нормально-осадочных пород. Структурные различия этих минералов лучше всего проявляются на электронограммах косых текстур (рис. 3).

Диоктаэдрические структурно упорядоченные иллиты в пределах Припятской впадины являются самыми распространенными минералами вулканогенных пород. Соотношение порядка и беспорядка

Глинизированный туф мощностью 28 см залегает внутри тектонически активной ритмопачки. В полевых условиях он хорошо выделяется по своей массивной текстуре и зеленоватым оттенкам и описывается разными исследователями как бентонит, глина монтмориллонитовая, туф и др. Этот туф хорошо выделяется также и по данным фотограмметрии керн. В цветовом пространстве  $HSV$  параметры цветности туфа имеют следующие значения: тон  $H = 52^\circ$ , насыщенность  $S = 12 \%$ , величина яркости  $V = 60 \%$ . В результате на диаграммах цветности туф хорошо определяется визуально как порода специфической цветности.

Обычно туфогенные горизонты рассматриваются как эксплозивные породы однократной генерации, что и определяет их маркирующее значение для расчленения и корреляции разрезов. Вмещающие нормально-осадочные породы при этом не принимаются во внимание, так как их фациальные особенности различны в разных зонах Припятской впадины. Методика цифровой литостратиграфии совмещает цифровые фотографии керн и параметры цветности на единой диаграмме. Это позволяет выполнять интерпретацию фациальных условий формирования пород.

Детали строения и основные разновидности пород маркирующего туфогенного горизонта показаны на рис. 2, из которого видно, что этот горизонт формировался не в виде одноактной эксплозии, а имеет предварительную стадию, отражающуюся в текстурах подстилающих пород, и также стадию затухания вулканической активности, которая отражается в текстурах перекрывающих пород.

Подстилающие породы имеют тонкослоистое (мощностью 1–10 мм) строение с горизонтально-слоистой текстурой. В подошве туфа залегает вулканогенно-осадочный турбидит № 1, образовавшийся в результате дробления и перемешивания донных пород. Причиной возникновения турбидитов служат землетрясения и цунами – мощные волновые явления, вызванные сейсмоструктурной активизацией. К турбидиту № 1 непосредственно примыкает туф мощностью 28 см, который составляет центральную часть этой ритмопачки и соответствует наиболее активной фазе ее формирования.

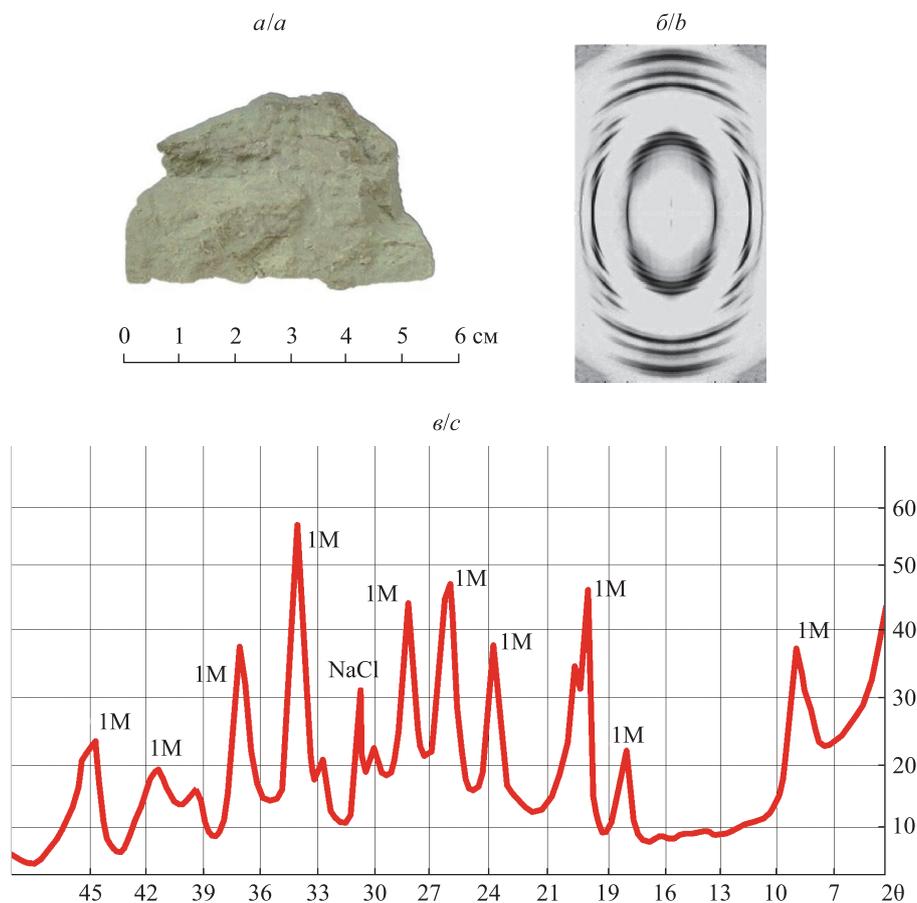


Рис. 3. Цифровая фотография туфа (а) (скважина № 1Д-9, глубина 481,50 м), электронограмма кривой текстуры (б) и дифрактограмма (в). Образец состоит из структурно упорядоченного диоктаэдрического иллита 1М  
Fig. 3. Digital photo of the tuff (a) (Petrikov 1D-9, depth 481.50 m), electron diffraction pattern of the texture (b) and X-ray diffraction diagram (c). The sample consists of the structure-ordered dioctahedral illite 1M

в структурах иллитов лучше всего идентифицируется по группе рефлексов  $021^{\pm}$ ,  $111^{\pm}$ . Присутствие этих рефлексов на электронограммах и дифрактограммах позволяет выявлять даже незначительные содержания вулканогенного материала в туффилах. Следует заметить, что распределение интенсивностей рефлексов  $021^{\pm}$ ,  $111^{\pm}$  структурно упорядоченных иллитов вулканогенных пород не совпадает с интенсивностью 1М-диоктаэдрических слюд. Этот эффект отмечается в глинизированных туфах многих вулканогенных формаций.

В работах [6; 7] особенности электронограмм туфов объясняются комбинацией двух структурных разновидностей иллитов – *цис*- и *транс*-октаэдрическими иллитами политипа 1М. Эти разновидности отличаются позицией двух катионов в трех возможных октаэдрических позициях слоистых силикатов. В результате *транс*-октаэдрические силикаты имеют идеальную симметрию  $C2/m$  и широко распространены в слюдах. *Цис*-октаэдрические структуры имеют симметрию  $C2$  и известны в иллитах политипа 1М. *Цис*- и *транс*-октаэдрические структуры известны и в диоктаэдрических смектитах. По нашему мнению, это свидетельствует о том, что 1М-иллиты туфов в процессе их формирования проходят стадию монтмориллонитизации, т. е. образуются из смектитовых бентонитов.

### Водоупорные свойства маркирующих туфогенных горизонтов

Глинизированные туфы считаются хорошими покрышками в нефтяной геологии [8], что позволяет рассматривать их как региональные водоупорные горизонты. Для оценки водопроницаемости пород надсолевой верхнедевонской толщи было выполнено исследование образца туфа из скважины № 1Д (глубина 481,50 м) методами SEM и EDX.

На микрофотографии SEM можно видеть темные и светлые участки (рис. 4). Как известно, темноцветные минералы состоят из легких химических элементов, а светлые – из тяжелых, что позволяет изучить структурно-текстурные характеристики туфа. На рис. 4 темноцветные минералы – это алюмосиликаты,

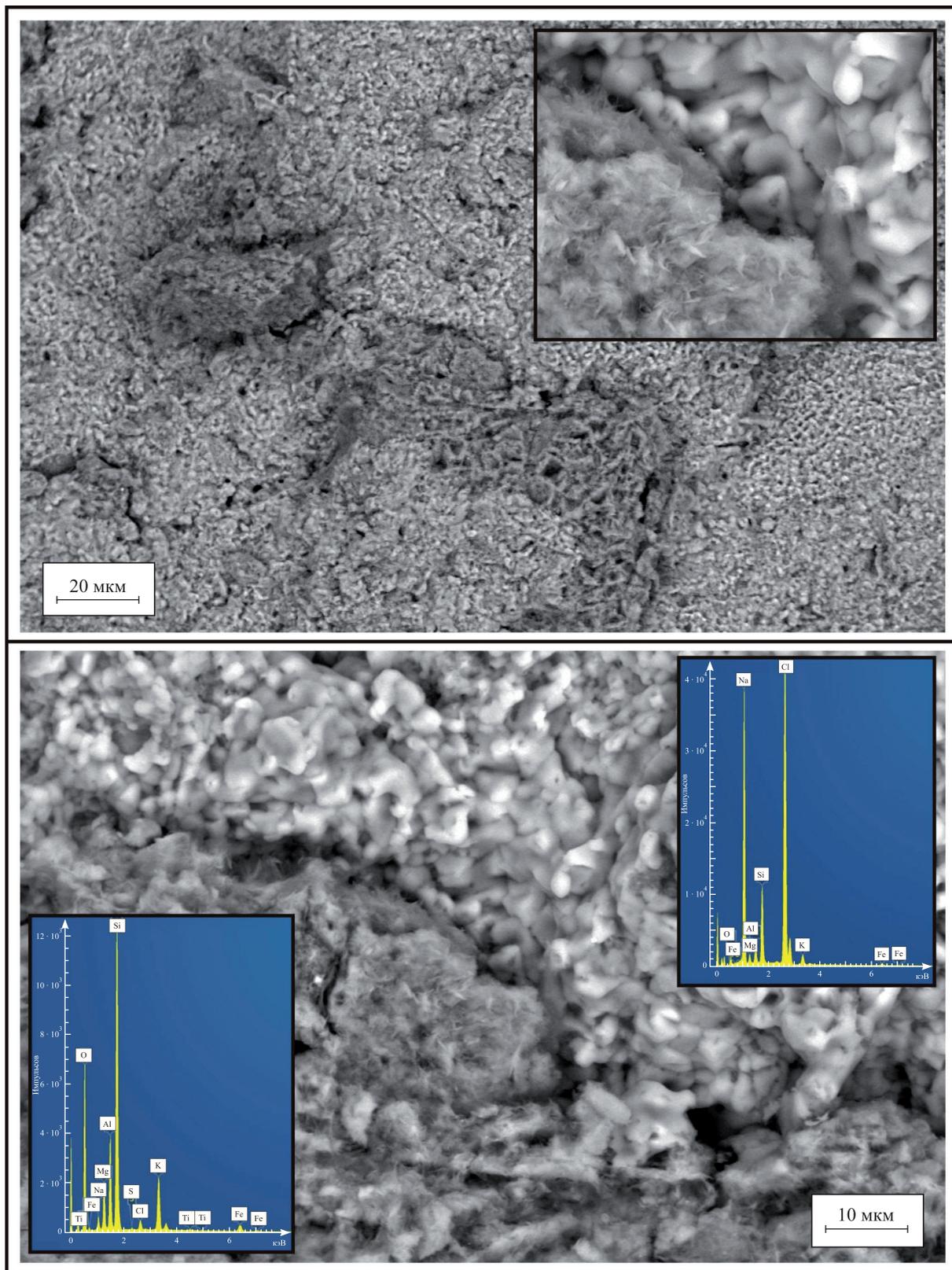


Рис. 4. Микрофотографии SEM и спектры EDX туфа  
(светлый участок – галит, темный – иллит)

Fig. 4. Photomicrograph SEM and EDX-spectra of the different parts of the tuff  
(light mineral – halite and dark – illite)



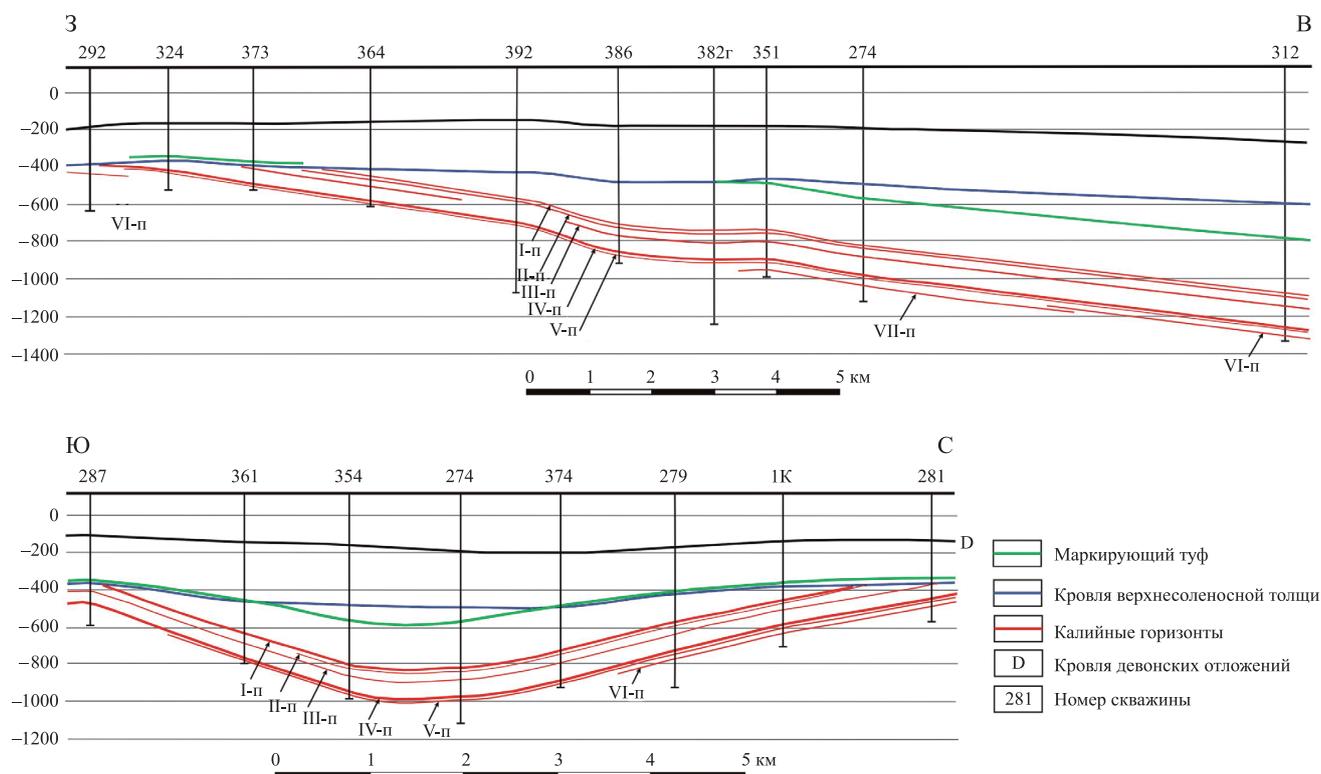


Рис. 6. Геологические разрезы Петриковского месторождения калийных солей

Fig. 6. Geological cross-sections of the Petrikov potash salt deposit

в пределах Северо-Шестовичской синклинали, из которой видно, что на востоке туф залегает внутри верхней соленосной толщи (ВСТ) Петриковской синклинали на глубинах до 192,80 м ниже кровли ВСТ, а на остальной территории туф залегает выше кровли ВСТ на расстояниях 7–24 м. Полоса совпадения глубин залегания туфа с глубиной ВСТ при переходе его из надсолевой толщи в ВСТ очерчивает наиболее погруженную часть Петриковской синклинали.

На рис. 6 представлены субширотный (З–В) и субмеридиональный (Ю–С) геологические разрезы через Петриковское месторождение калийных солей, показывающие особенности залегания туфа. Можно видеть, что в крайних частях разрезов калийные горизонты отсутствуют, а туф переходит из верхней соленосной в надсолевую глинисто-мергельную толщу (ГМТ2).

### Заключение

Многочисленные маркирующие туфогенные горизонты верхнедевонской толщи Припятской впадины имеют региональное распространение и хорошо определяются визуально в полевых условиях и по данным фотограмметрии керн скважин. Они имеют зеленоватый оттенок и специфические структурно-текстурные характеристики – реликтовую витрокластическую или литокластическую структуру и массивную текстуру. На диаграммах цветности пород туфы выделяются повышенными значениями величины яркости, насыщенности, увеличением тона зеленых оттенков на цветовом круге тона *H*.

Использование методических подходов цифровой литостратиграфии позволило уточнить строение туфогенного маркирующего горизонта, залегающего в подошве ритмопачки VI Петриковского месторождения калийных солей (геофизический репер D). Установлены начало и конец сеймотектонической активизации этой ритмопачки. Максимум активизации приурочен к литокластическому туфу – взрывной породе регионального распространения. Кроме этого, в составе изучаемого горизонта выделены 5 турбидитов, которые определяют этапы землетрясений и цунами, при этом турбидит № 1 расположен в подошве туфа, а остальные турбидиты сосредоточены в верхней части маркирующего горизонта. Их распределение свидетельствует о периодическом характере затухающей сеймотектонической активности.

Глинистые минералы туфов представлены *цис*- и *транс*-октаэдрическими иллитамии политипа 1M. Эта разновидность диоктаэдрических структурно упорядоченных иллитов характерна для туфов не только в пределах Припятской впадины, но и в других регионах мира [10; 11]. Наличие рефлексов 021<sup>±</sup>, 111<sup>±</sup> на дифрактограммах и электронограммах позволяет надежно выявлять присутствие вулканогенного материала в составе туффитов, так как в иллитах 1Md нормально-осадочных пород эти рефлексы отсутствуют.

Изучаемый глинизированный туф является региональным гидроизолирующим слоем. В шахтном стволе № 1 Петриковского месторождения калийных солей он расположен в 17,85 м выше кровли ВСТ, что служит благоприятным фактором для включения этой зоны в состав водоупорного горизонта Петриковского месторождения. Однако мощность туфа здесь невелика (до 0,35 м), при этом он залегает под углом 10–15° с падением на юг. Кроме отмеченной выше микротрещиноватости, в скиповом стволе № 1 туф разорван сбросом амплитудой 15 см. Трещиноватость и разрывы сплошности туфа являются негативными факторами для оценки этого слоя с точки зрения его гидроизолирующих свойств, а значение его понижается с регионального до локального.

### Библиографические ссылки

1. Корзун ВП, Махнач АС. *Верхнедевонская щелочная вулканогенная формация Припятского прогиба*. Минск: Наука и техника; 1977. 161 с.
2. Петрова НС, Шабловская РК. Об участии вулканического материала в формировании позднефамениских калиеносных отложений Припятского прогиба. В: Мерзляков Г, Жарков М, редакторы. *Условия образования месторождений калийных солей*. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение; 1990. с. 112–119.
3. Обровец СМ, Шабловская РК. Минералогия и закономерности распределения глинистых минералов в соленосных и надсолевых отложениях Петриковского месторождения калийных солей. В: *Проблемы поисков твердых полезных ископаемых в БССР*. Минск: БелНИГРИ; 1977. с. 137–142.
4. Гарецкий РГ, Высоцкий ЭА, Кислик ВЗ и др. Калийные соли Припятского прогиба. Минск: Наука и техника; 1984. 182 с.
5. Самодуров ВП, Гречко АМ, Кутырло ВЭ. Изучение фациальных особенностей и стадий галогенеза эвапоритовых формаций методом анализа цветности пород и минералов. *Природные ресурсы*. 2014;2:43–48.
6. Жухлистов АП, Викентьев ИВ, Русинова ОВ. Электронографическое исследование иллитов 1М с переслаивающимися транс- и цис-вакантными 2 : 1 слоями. *Кристаллография*. 2012;57(2):319–324.
7. Drits VA, Zviagina BB. *Trans-vacant and cis-vacant 2 : 1 layer silicates: structural features, identification and occurrence*. *Clays and Clay Minerals*. 2009;57(4):405–415.
8. Осипов ВИ, Соколов ВН, Еремеев ВВ. *Глинистые покрывки нефтяных и газовых месторождений*. Москва: Наука; 2001. 238 с.
9. Фролова ЮВ, Гвоздева ИЛ, Чернов МС, Кузнецов НЛ. Инженерно-геологические аспекты гидротермальных преобразований туфогенных пород долины гейзеров (полуостров Камчатка). *Инженерная геология*. 2015;6:30–42.
10. Cuadros J, Altaner SP. Compositional and structural features of the octahedral sheet in mixed-layer illite-smectite from bentonites. *European Journal of Mineralogy*. 1998;10:111–124.
11. Lindgreen H, Surlyk F. Upper Permian-Lower Cretaceous clay mineralogy of East Greenland: provenance, paleoclimate and volcanicity. *Clay Minerals*. 2000;35:791–806.

### References

1. Korzun VP, Makhnach AS. *Verkhnedevonская shchelochnaya vulkanogennaya formatsiya Pripyatskogo progiba* [Upper-Devonian alkaline volcanic formation of Pripyat Trough]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1977. 161 p. Russian.
2. Petrova NS, Shablovskaya RK. [On volcanic matter participation in Upper-Famenian potash deposit of Pripyat Trough]. In: Merzlyakov G, Zharkov M, editors. *Usloviya obrazovaniya mestorozhdenii kaliinykh solei* [Conditions of the potash deposit formation]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie; 1990. p. 112–119. Russian.
3. Obrovets SM, Shablovskaya RK. [Mineralogy and clay minerals distribution in the salt and overburden rocks of Petrikov potash field]. In: *Problemy poiskov tverdykh poleznykh iskopaemykh v BSSR* [Problems of the mineral resources exploration in the BSSR]. Minsk: BelNIGRI; 1977. p. 137–142. Russian.
4. Garecky RG, Vysocky EA, Kislik VZ, et al. *Kaliinye soli Pripyatskogo progiba* [Potash deposits of Pripyat Trough]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1984. 182 p. Russian.
5. Samodurov VP, Grechko AM, Kutyrlo VE. [Evaporite beds facies and rock sequences study by the rock and mineral color analysis]. *Natural resources*. 2014;2:43–48. Russian.
6. Zhukhlistov AP, Viken'tiev IV, Rusinova OV. Elektronograficheskoe issledovanie illitov 1M s pereslaivayushchimisya trans- i isis-vakantnymi 2 : 1 slojami. *Kristallografiya*. 2012;57(2):319–324. Russian.
7. Drits VA, Zviagina BB. *Trans-vacant and cis-vacant 2 : 1 layer silicates: structural features, identification and occurrence*. *Clays and Clay Minerals*. 2009;57(4):405–415.
8. Osipov VI, Sokolov VN, Eremeev VV. *Glinistye pokryshki neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii* [Clay blanked beds of the oil and gas deposits]. Moscow: Nauka; 2001. 238 p. Russian.
9. Frolova YuV, Gvozdeva IL, Chernov MS, Kuznetsov NL. [Engineering geology aspects hydrothermal alteration [tuff rocks of the Geyser valley (Kamchatka)]. *Inzhenernaya geologiya*. 2015;6:30–42. Russian.
10. Cuadros J, Altaner SP. Compositional and structural features of the octahedral sheet in mixed-layer illite-smectite from bentonites. *European Journal of Mineralogy*. 1998;10:111–124.
11. Lindgreen H, Surlyk F. Upper Permian-Lower Cretaceous clay mineralogy of East Greenland: provenance, paleoclimate and volcanicity. *Clay Minerals*. 2000;35:791–806.