

УДК 544.171.44

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ДЕЙСТВИЯ БЕНЗОТРИАЗОЛА И МЕРКАПТОБЕНЗОТИАЗОЛА КАК ИНГИБИРУЮЩИХ ДОБАВОК В МИНЕРАЛЬНОМ МАСЛЕ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФОТОЭЛЕКТРОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

© 2022 г. И. Н. Шабанова<sup>a, \*</sup>, С. М. Решетников<sup>a, b</sup>, Е. А. Наймушина<sup>a, c</sup>,  
Н. С. Теребова<sup>a, \*\*</sup>, А. В. Холзаков<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН,  
Ижевск, 426067 Россия

<sup>b</sup>Удмуртский государственный университет,  
Ижевск, 426034 Россия

<sup>c</sup>Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова,  
Ижевск, 426069 Россия

\*e-mail: xps@udman.ru

\*\*e-mail: Terebova@udman.ru

Поступила в редакцию 26.06.2021 г.

После доработки 10.08.2021 г.

Принята к публикации 24.08.2021 г.

Методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии изучен механизм формирования на поверхности нелегированной стали защитного противокоррозионного слоя на основе масляных растворов меркаптобензотиазола и бензотриазола. Показано, что защитное действие минерально-масляных композиций определяется образованием адсорбционных слоев на поверхности, стали, препятствующих проникновению агрессивных веществ и влаги. Защитное действие таких композиций изучено с помощью коррозиметра “Монитор” в коррозионной среде, имитирующей конденсат влаги промышленных городов. Установлено, что защитное действие минерально-масляных композиций при содержании ингибирующих добавок бензотриазола и меркаптобензотиазола в концентрации 1–5 мас. % проявляется в полной мере только после нагрева защитного слоя до 50–150°C. С помощью метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показано, что при этих температурах образуются хемосорбционные связи атомов железа поверхности с атомами азота молекул бензотриазола и атомами азота и серы молекул меркаптобензотиазола. В результате такого взаимодействия атомов-ингибиторов с атомами железа на поверхности стали формируется плотный защитный минерально-масляный слой.

**Ключевые слова:** рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, коррозиметр, защитный противокоррозионный слой, ингибиторы коррозии меркаптобензотиазол (МБТА), бензотриазол (БТА).

DOI: 10.31857/S1028096022040148

### ВВЕДЕНИЕ

Ингибиторы коррозии предназначены для предотвращения активного контакта металлической поверхности с окружающей средой. Эффективность ингибирующего действия большинства органических соединений определяется их адсорбционной способностью при контакте с поверхностью металла. Эта способность достаточно велика из-за наличия в молекулах атомов или функциональных групп, обеспечивающих адсорбционное взаимодействие ингибитора с металлом. Такими активными группами могут быть группы, содержащие азот, серу, кислород и фосфор, которые адсорбируются на поверхности ме-

талла благодаря донорно-акцепторным и водородным связям [1–3]. Наиболее широко распространены ингибиторы на основе азотсодержащих соединений. Большой интерес представляют также соединения, содержащие в молекуле атомы серы. Органические ингибиторы применяются как самостоятельно, так и в комплексе мер по предотвращению коррозии [4]. Изолирующие свойства покрытий определяются их сплошностью и диффузионными характеристиками [5]. Наиболее распространенные вещества, вызывающие атмосферную коррозию, это вода и кислород. Известно [6], что маслорастворимые ингибиторы коррозии вытесняют воду (конденсат влаги) с поверх-

ности металла, создают на нем адсорбционную гидрофобную пленку, которая препятствует переносу коррозионно-агрессивных компонентов сред к поверхности металла.

В настоящее время подробно исследуют ингибиторы 1,2,3-бензотриазол (БТА) и меркаптобензотриазол (МБТА) [7–10]. Их используют в качестве ингибиторов для водных сред и выпускают в промышленных масштабах. Они показали свою эффективность как в кислых, так и в нейтральных коррозионных средах. Было интересно оценить эффективность этих ингибиторов в масляной среде. Масло должно создать гидрофобный слой, препятствующий подходу воды к границе металл–покрытие, а ингибиторы в смеси – еще больше уменьшить влагопроницаемость масляных пленок и создать адсорбционные защитные слои на металле.

Метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) сегодня широко используется для анализа и исследования поверхности в научных и технологических целях [11, 12]. Он был применен в настоящей работе для анализа поверхностных слоев. Целью работы было изучение межатомного взаимодействия с поверхностью стали покрытия, получаемого с использованием ингибиторов БТА или МБТА, вводимых в минерально-масляную основу в качестве добавки.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследования методом РФЭС проводили на магнитном спектрометре с разрешением  $10^{-4}$ , светосилой прибора 0.085% при возбуждении  $AlK_{\alpha}$ -линии 1486.5 эВ [13].

Объектами исследований были консервационные покрытия на стали 3, изготовленные из масла VM-1C с различной концентрацией МБТА или БТА и нанесенные на подложку из стали. В качестве модельной масляной основы было выбрано вакуумное масло VM-1C по ТУ 38.101187-88. В отличие от других нефтяных масел, данное масло представляет собой чистые углеводороды без каких-либо летучих компонентов, а также продуктов химического превращения углеводородов.

Технология приготовления консервационной композиции заключалась в следующем: ингибиторы БТА и МБТА измельчали в ступке и растворяли в толуоле. В масло вводили полученный раствор в количестве, обеспечивающем концентрацию ингибиторов от 1 до 5 мас. %. Смесь перемешивали. По увеличению массы образца после нанесения композиции на поверхность образца и естественного стекания с учетом плотности масла, равномерного распределения его по поверхности образца была рассчитана толщина масляного слоя, которая составила 100 нм. Введение добавок ингибиторов БТА и МБТА в пределах 1–

5 мас. % не меняет вязкость масла, т.е. можно полагать, что толщина масляного слоя та же, что и при нанесении масла без добавок.

Изучали поверхность стали 3, покрытую консервационными композициями, приготовленными по описанной выше технологии. В качестве эталонов исследовали образцы поверхности стали 3 без покрытия и с покрытием маслом VM-1C. Адсорбцию МБТА и БТА изучали на порошках, нанесенных на поверхность стали 3. Поверхность стали перед установкой образца в исследовательскую камеру тщательно очищали (механически убирали поверхностный слой), на нее наносили покрытие, образец устанавливали в исследовательскую камеру прибора. Далее проводили откачку вакуумной камеры. Все образцы устанавливали единым способом.

Скорость коррозии образцов измеряли с помощью коррозиметра марки “Монитор”. Образцы с нанесенными защитными покрытиями монтировали в датчик коррозиметра, погружали в раствор, имитирующий состав конденсата влаги. Скорость коррозии ( $V_{отн}$ ) измеряли в течение 2 ч. За это время скорость коррозии достигала постоянного значения. Скорость коррозии исходных образцов без какого-либо покрытия принимали за единицу, все полученные далее значения относили к этому значению. Это значение и приведено в табл. 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучали особенности химического строения поверхностных слоев, получаемых при нанесении на сталь 3 масла, масляных композиций, содержащих 1–5% МБТА или БТА, а также этих ингибиторов в порошкообразном виде. Получены РФЭ-спектры  $C1s$ ,  $O1s$ ,  $Fe2p_{3/2}$ ,  $N1s$ ,  $S2p$  – спектры внутренних уровней образцов. Спектры получали без нагрева и при ступенчатом нагреве с шагом  $50^{\circ}C$  в камере спектрометра в условиях вакуума.

Исследование методом РФЭС поверхности стали 3, на которую в дальнейшем наносили изучаемые защитные покрытия, показало, что без нагрева максимум спектра  $C1s$  соответствует связи в  $C-H$  (285.0 эВ) и имеет полуширину 2 эВ. При нагреве полуширина не меняется (рис. 1а). В спектре  $O1s$  присутствуют две составляющие: максимум при энергии связи  $E = 532.0$  эВ соответствует адсорбированному кислороду. Менее интенсивный максимум при  $E = 530.0$  эВ соответствуют кислороду, связанному с металлом [14, 15]. При нагреве до  $100-150^{\circ}C$  максимум, характерный для адсорбированного на поверхности кислорода  $O_{адс}$ , уменьшается относительно максимума кислорода в связи  $Fe-O$  (рис. 1б).

**Таблица 1.** Скорость коррозии образцов с защитным масляным слоем с добавлением ингибиторов и без добавления ингибиторов

| Образец | Ингибитор | Условная (относительная) скорость коррозии ( $V_{отн}$ ) |      |       |       |
|---------|-----------|--|------|-------|-------|
|         |           | Термохимическая активация                                |      |       |       |
|         |           | 20°C   | 50°C | 100°C | 150°C |
| 00      | Нет       | 1  | 0.98 | 0.91  | 0.95  |
| 0       | Масло     | 0.92   | 0.89 | 0.90  | 0.90  |
| 1       | БТА       | 0.68   | 0.28 | 0.1   | 0.12  |
|         | МБТА      | 0.63   | 0.23 | 0.08  | 0.04  |
| 3       | БТА       | 0.61   | 0.22 | 0.08  | 0.08  |
|         | МБТА      | 0.59   | 0.20 | 0.06  | 0.08  |
| 5       | БТА       | 0.60   | 0.22 | 0.08  | 0.09  |
|         | МБТА      | 0.58   | 0.20 | 0.06  | 0.03  |

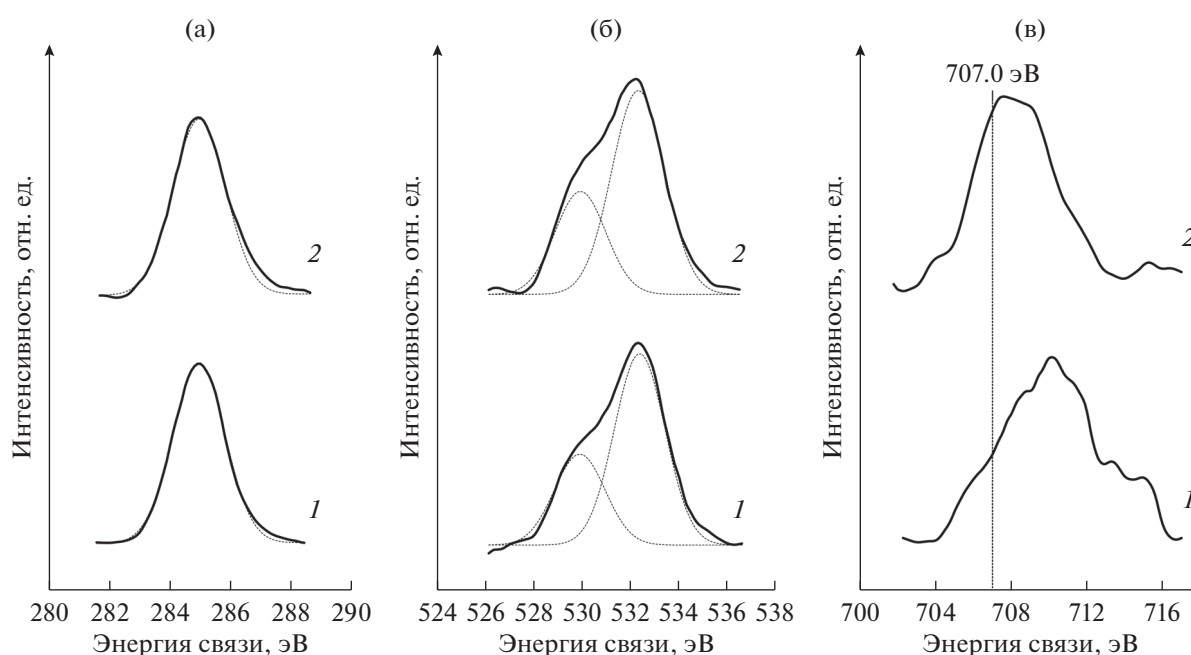
Примечание. 00 – сталь без нанесенного слоя, 0 – сталь покрыта маслом ВМ-1С, 1 – сталь покрыта 1%-ным раствором ингибиторов в масле, 3 – сталь покрыта 3%-ным раствором ингибиторов в масле, 5 – сталь покрыта 5%-ным раствором ингибиторов в масле.

В отсутствие нагрева в  $Fe2p_{3/2}$ -спектре преобладают составляющие в диапазоне 708–711 эВ, характерные для оксидов, есть “наплыв” в области энергии связи 707.0 эВ, соответствующий не окисленному железу [14, 15]. При нагреве в спектре  $Fe2p_{3/2}$  растет пик при энергии связи 707.0 эВ, соответствующий не окисленному железу (рис. 1в).

Такое изменение спектров O1s и  $Fe2p_{3/2}$  свидетельствует о том, что на поверхности стали 3 без

покрытия, очищенной перед установкой в камеру, имеется не окисленное железо, железо в связи Fe–O и адсорбированный кислород. При повышении температуры на поверхности растет слой не окисленного железа относительно Fe–O за счет уменьшения адсорбции кислорода. Скорость коррозии уменьшается на 2–5% (табл. 1).

Исследование тонкого слоя масла ВМ-1С, нанесенного на поверхность стали 3, показало, что без нагрева максимум спектра C1s характеризуется



**Рис. 1.** РФЭ-спектры поверхности стали без нанесенного защитного слоя без нагрева (1) и после нагрева до 100°C (2): а – C1s; б – O1s; в –  $Fe2p$ .

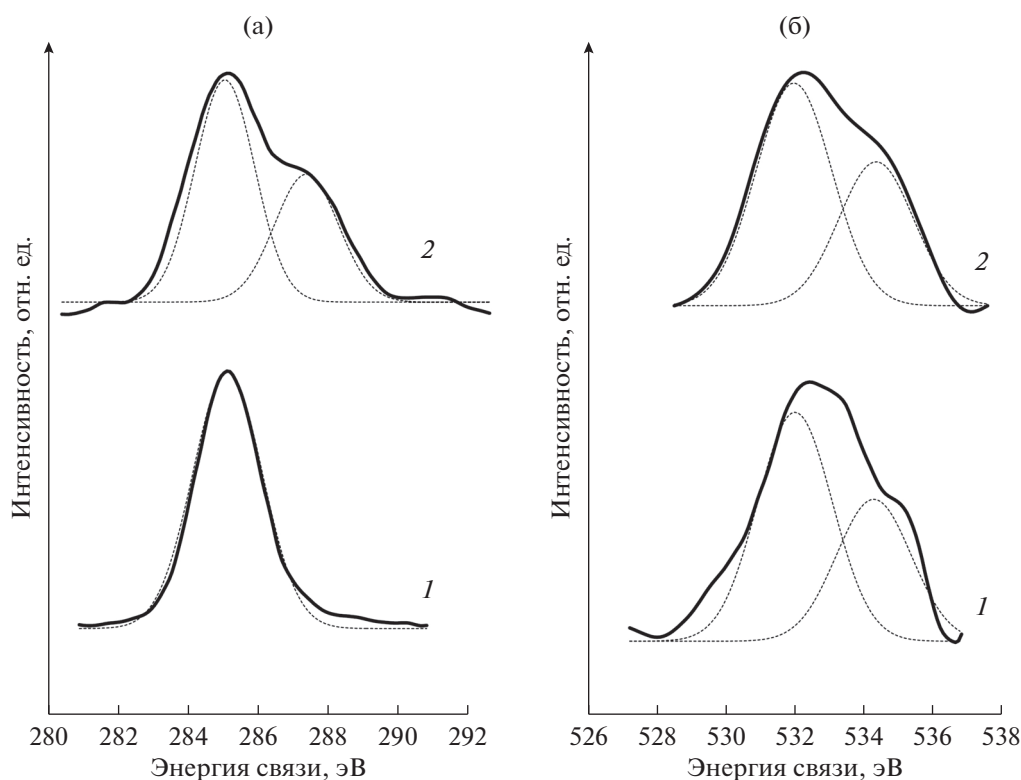


Рис. 2. РФЭ-спектры поверхности стали с нанесенным слоем масла без нагрева (1) и после нагрева до 100°C (2): а – C1s; б – O1s.

ся высокой контрастностью, соответствует связи C–H (285.0 эВ) и имеет полуширину 2 эВ. При небольшом нагреве контрастность спектра уменьшается, полуширина увеличивается вдвое, в спектре появляется составляющая COOH при энергии связи 287.5 эВ [16] (рис. 2а).

Без нагрева и в случае нагрева поверхности до 100°C Спектр O1s имеет две составляющие в интервале 532.0–534.3 эВ, характерные для адсорбированного кислорода [15] и гидроксильной группы [17], что свидетельствует об адсорбции кислорода на поверхности пленки масла (рис. 2б). Спектра Fe2p<sub>3/2</sub> обнаружено не было, т.е. поверхность образца закрыта маслом, на котором присутствует адсорбированный из воздуха кислород. При нагреве до 100°C кроме СН на поверхности стали 3 образуются адсорбционно-активные карбоксильные группы COOH, что и приводит к небольшому (10%) уменьшению скорости коррозии (табл. 1).

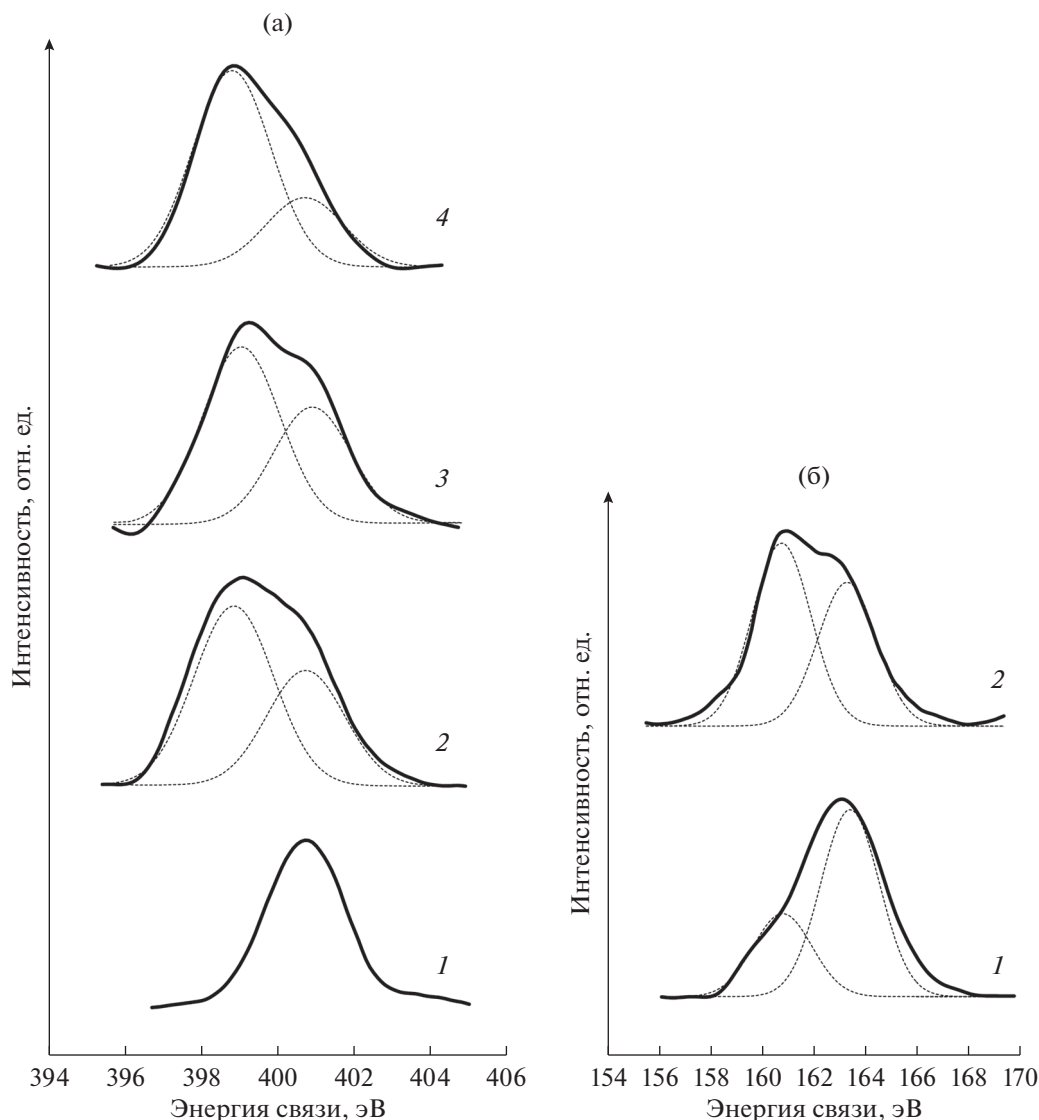
Исследование защитных композиций с 1–5 мас. % БТА и МБТА в масле показало, что как без нагрева, так и при нагреве в камере спектрометра до температуры 100–150°C на поверхности образцов присутствуют только СН-группы углеводородов. В отличие от образца, покрытого тонким слоем масла без ингибирующих добавок, кислорода на поверхности образцов с защитными

композициями не обнаружено. Нагрев выше 100°C приводит к тому, что появляется спектр O1s при энергии связи  $E = 530.0$  эВ, характерный для оксидов металла. Спектр Fe2p<sub>3/2</sub> появляется только при нагреве до 300°C в случае защитной композиции с БТА и 350°C в случае МБТА.

Спектров N1s и S2p образцов с изучаемыми защитными композициями как без нагрева, так и при нагреве до 100°C обнаружено не было. Это можно объяснить тем, что при нанесении на поверхность стали 3 защитных композиций с 1–5 мас. % БТА и МБТА в масле атомы азота и серы взаимодействуют непосредственно с поверхностью металла, и их закрывает достаточно толстый слой масла, а при нагреве до 100°C слой масла еще большей.

Коррозионные испытания показали, что введение ингибиторов БТА и МБТА в масло заметно снижает скорость коррозии образцов уже при комнатной температуре. Нагревание до 50 и 100°C существенно повышает эффективность композиций с ингибиторами. Увеличение концентрации ингибиторов в композициях от 3 до 5 мас. % мало сказывается на защитной эффективности образующегося слоя (табл. 1).

Результаты коррозионных испытаний образцов с защитными масляно-минеральными композициями позволили предположить, что в ходе



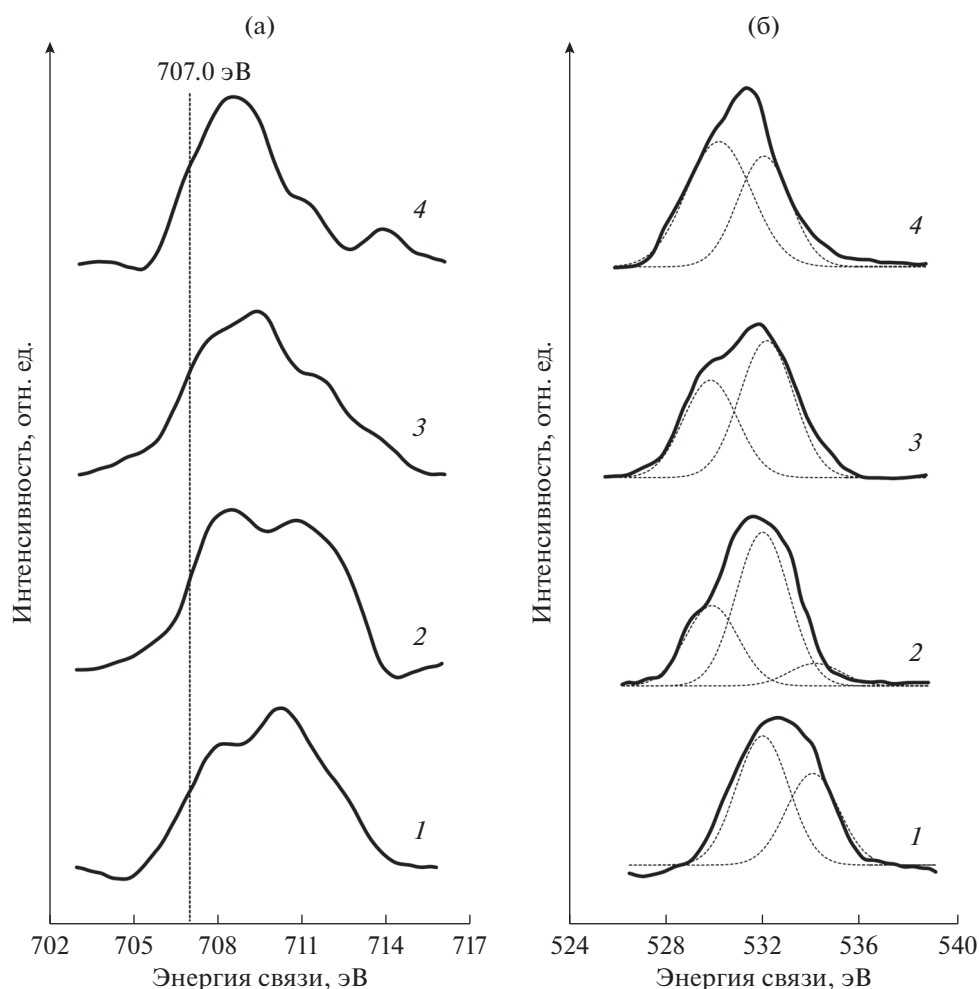
**Рис. 3.** РФЭС-спектры поверхности с нанесенным слоем порошков: а – N1s БТА без нагрева (1) и нагрев до 100°C (2), МБТА без нагрева (3) и нагрев до 100°C (4); б – S2p МБТА на поверхности железа без нагрева (1) и нагрев до 100°C (2).

нагрева (термохимической активации) образуются хемосорбционные связи атомов железа с атомами азота молекул БТА и атомами азота и серы молекул МБТА. Именно в результате такого взаимодействия атомов ингибиторов с атомами железа поверхности стали, инициированного термохимической активацией, и происходит образование плотного защитного слоя.

Чтобы проверить предположение о взаимодействии молекул присадок с поверхностью, было проведено РФЭС-исследование эталонных порошков ингибиторов БТА и МБТА, нанесенных на поверхность стали 3. На рис. 3 приведены спектры N1s и S2p БТА и МБТА, адсорбированных на поверхности железа. Исследование эталонных порошков ингибиторов БТА и МБТА, на-

несенных на поверхность железа, показало, что спектр азота N1s БТА в отсутствие нагрева имеет интенсивный максимум при энергии связи  $E = 400$  эВ (рис. 3а, кривая 1). В спектре N1s МБТА в отличие от БТА без нагрева присутствуют две составляющие N–Fe (398.9 эВ) и N–Fe–O (400.6 эВ) (рис. 3а, кривая 3) [15].

При нагреве до температуры 100°C (рис. 3а, кривая 2) в N1s-спектре БТА появляется составляющая при меньшей энергии связи, характерная для связи N–Fe, и сохраняется составляющая, соответствующая связи N–Fe–O. В N1s-спектре МБТА при нагреве до 100°C (рис. 3а, кривая 4) наблюдается относительный рост составляющей N–Fe (398.9 эВ). S2p-спектр исходного порошка МБТА без нагрева состоит из двух составляющих



**Рис. 4.** РФЭ-спектры поверхности с нанесенным слоем порошков БТА (1, 2) и МБТА (3, 4) без нагрева (1, 3) и после нагрева до 100°C (2, 4): а – Fe2*p*; б – O1*s*.

в интервале  $E = 160.8\text{--}163.4$  эВ, что характерно для связей Fe–S<sub>x</sub> [18] (рис. 3б, кривая 1). При нагреве до 100°C растет составляющая S–Fe в области 160.8 эВ (рис. 3б, кривая 2).

На рис. 4 приведены спектры Fe2*p* и O1*s* порошков БТА и МБТА, адсорбированных на поверхности железа. В спектрах Fe2*p* БТА и МБТА без нагрева (рис. 4а, кривые 1, 3), кроме области, характерной для оксидов Fe–O<sub>x</sub>, присутствует составляющая, соответствующая не окисленному железу (707.0 эВ). Это говорит о том, что в поверхностном слое помимо оксидов имеются и участки не окисленного железа. При нагреве до 100°C в спектре Fe2*p* растет составляющая при энергии связи 707.0 эВ (рис. 4а, кривые 2, 4), характерная как для чистого железа, так и для ковалентной (донорно-акцепторной связи) железа с азотом Fe–N (БТА) или с серой и азотом Fe–S–N (МБТА). Образование при нагреве ковалентных связей железа с азотом и серой подтверждается появлением

(БТА) и ростом (МБТА) в спектрах N1*s* и S2*p* составляющих при меньшей энергии связи.

В отсутствие нагрева спектр O1*s* БТА (рис. 4б, кривая 1) соответствует адсорбированному кислороду в интервале 532.0–534.3 эВ [15, 17], а в спектре O1*s* МБТА (рис. 4б, кривая 3) имеются две составляющие оксида железа (530.0 эВ – Fe–O) и адсорбированного кислорода (532.0 эВ – O<sub>адс</sub>). При нагреве до 100°C (рис. 4б, кривые 2, 3) и в том, и в другом случае уменьшается вклад адсорбированного кислорода, а составляющая (530.0 эВ), характерная для связи Fe–O, появляется в случае БТА и растет в случае МБТА. Сопоставление спектров, полученных для образцов стали с нанесенными на поверхность порошками БТА и МБТА, указывает на то, что хемосорбционный характер взаимодействия ингибиторов и железа проявляется в обоих случаях, но в большей степени выражен для МБТА.

Образование ковалентных связей между атомами железа и азота, и серы подтверждается при

нагреве появлением (БТА) и ростом (МБТА) в спектрах  $N1s$  и  $S2p$  составляющих при меньшей энергии связи ( $N-Fe$  и  $S-Fe$ ), а также наличием в спектре  $Fe2p_{3/2}$  пика при энергии связи, характерной как для чистого железа, так и для ковалентной связи атомов железа с атомами азота  $Fe-N$  (БТА) или атомами серы и азота  $Fe-S-N$  (МБТА).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом РФЭС изучен механизм защитного действия минерально-масляных композиций с ингибирующими добавками БТА и МБТА на поверхности нелегированной стали.

Установлено, что формирование эффективно защитного слоя происходит за счет образования ковалентных (донорно-акцепторных) связей атомов железа с атомами азота в случае композиций с БТА и атомами азота и серы в случае композиций с МБТА, что проявляется в полной мере только после нагрева до  $50-150^\circ C$  слоя композиции, нанесенного на нелегированную сталь. Образуется прочное защитное покрытие на поверхности стали, препятствующее воздействию коррозионной среды.

Коррозионные испытания показали, что после термохимической активации при температуре  $50-100^\circ C$  скорость коррозии образцов может быть уменьшена на  $80-95\%$ .

На основании полученных результатов можно считать, что введение в модельную масляную среду ингибиторов коррозии БТА и МБТА, известных в качестве ингибиторов для водных сред, позволит создавать эффективные защитные минерально-масляные композиции с тонким, до  $100$  нм, поверхностным слоем, что не потребует расконсервации изделий после межоперационного хранения.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания (№ гос. регистрации АААА-А17-117022250040-0) с использованием оборудования ЦКП “Центр физических и физико-химических методов анализа, исследования свойств и характеристик поверхности, наноструктур, материалов и изделий УдмФИЦ УрО РАН” при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы” (уникальный идентификатор проекта – RFMEFI62119X0035).

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М.: Металлургия, 1989. 101 с.
2. Хайруллина Э.Р. Нефтегазовое дело. <http://www.ogbus.ru>
3. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. М.: Химия, 1987. 224 с.
4. Вигдорovich В.И., Цыганова Л.Е., Поздняков А.П., Шель Н.В. Научные основы, практика создания и номенклатура антикоррозионных консервационных материалов. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. ун-та, 2001. 192 с.
5. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Учебное пособие для вузов. Л.: Химия, 1981. 352 с.
6. Крейн С.Э., Шехтер Ю.Н. Нитрованные масла. М.: Химия, 1967. 180 с.
7. Kuznetsov Yu.I. // Int. J. Corros. Scale Inhib. 2020. V. 9. № 4. P. 1142. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-1>
8. Avdeev Ya.G., Kuznetsov Yu.I. // Int. J. Corros. Scale Inhib. 2020. V. 9. № 4. P. 1194. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-4-3>
9. Avdeev Ya.G., Kuznetsov Yu.I. // Int. J. Corros. Scale Inhib. 2020. V. 9. № 3. P. 867. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2020-9-3-5>
10. Гладких Н.А. Ингибирование локального растворения металлов композициями на основе органических силанов. Автореф. дис. ... канд. хим. наук: 05.17.03. Москва: ИФХЭ РАН, 2020. 16 с.
11. Кузнецов М.В., Запелалов А.Я., Золотухина Л.В., Арефьев И.Г., Гельчинский Б.Р. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2011. № 5. С. 43.
12. Козаков А.Т., Никольский А.В., Гуглев К.А., Смотров В.Г., Еремкин В.В., Панченко Е.М. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2012. № 9. С. 35.
13. Трапезников В.А., Шабанова И.Н., Kholzakov A.V., Ponomaryov A.G. // J. Electron Spectrosc. Related Phenomena. 2004. V. 137–140. P. 383. <https://doi.org/10.1016/j.elspec.2004.02.115>
14. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. М.: Химия, 198, 256 с.
15. NIST XPS Database Scientific Citation Search Result. [srdata.nist.gov](http://srdata.nist.gov).
16. Beamson G., Briggs D. High Resolution XPS of Organic Polymers: The Scienta ESCA 300 Database. Wiley: Chichester, 1992.
17. Анализ поверхности методами оже и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии / Ред. Бриггс Д., Сих М.П. М.: Мир, 1987. 600 с.
18. Chasse T., Peisert H., Streubel P., Szargan R., Meisel A. // Acta Phys. Polonica. A. 1993. V. 83. № 6. P. 793.

## Study of the Mechanism of Action of Benzotriazole and Mercaptobenzothiazole as Inhibiting Additives in Mineral Oil by X-Ray Photoelectron Spectroscopy

I. N. Shabanova<sup>1,\*</sup>, S. M. Reshetnikov<sup>1,2</sup>, E. A. Naimushina<sup>1,3</sup>, N. S. Terebova<sup>1,\*\*</sup>, A. V. Kholzakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Udmurt Federal Research Centre of the Ural Branch RAS, Izhevsk, 426067 Russia*

<sup>2</sup>*Udmurt State University, Izhevsk, 426034 Russia*

<sup>3</sup>*T.M. Kalashnikov Udmurt State Technical University, Izhevsk, 426069 Russia*

*\*e-mail: xps@udman.ru*

*\*\*e-mail: Terebova@udman.ru*

The mechanism of formation on the surface of non-alloy steel of a protective anticorrosive layer based on oil solutions of mercaptobenzothiazole (MBTA) and benzotriazole (BTA) has been studied by X-ray photoelectron spectroscopy. It is shown that the protective action of the mineral-oil compositions is determined by the formation of adsorption layers on the steel surface, preventing the penetration of aggressive substances and moisture. The protective effect of such compositions has been studied using a Monicor corrosion meter in a corrosive environment simulating moisture condensate in industrial cities. It has been established that the protective action of mineral-oil compositions containing inhibiting additives BTA and MTBA in a concentration of 1–5 wt % is fully manifested only after heating the protective layer to 50–150°C. Using X-ray photoelectron spectroscopy, it is shown that at these temperatures, chemisorption bonds of iron atoms of the surface with nitrogen atoms of BTA molecules and nitrogen and sulfur atoms of MTBA molecules are formed. As a result of this interaction between inhibitor atoms and surface iron atoms, a dense protective mineral-oil layer is formed on the steel surface.

**Keywords:** X-ray photoelectron spectroscopy, corrosion meter, protective anticorrosive layer, corrosion inhibitors, mercaptobenzothiazole (MBTA), benzotriazole (BTA).