Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным

М. И. Митягина, О. Ю. Лаврова

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

E-mail: mityag@iki.rssi.ru

В ходе многосенсорного спутникового мониторинга Каспийского моря 2019–2020 гг. выявлен ранее не описанный и не нанесённый на карты выход нефтеуглеводородов с морского дна в шельфовой зоне вблизи п-ова Челекен (Туркменистан). Выполнен ретроспективный анализ радиолокационных и оптических спутниковых данных, полученных над этим районом за период 2007–2020 гг. В результате проведённого исследования уточнены координаты данного источника, соответствующие повторяющейся точке всплытия 320 нефтепроявлений, выявленных на спутниковых изображениях района интереса за указанный период. На основе спутниковой информации построена карта нефтяного загрязнения морской поверхности юго-восточной части Каспийского моря в районе туркменского шельфа. Определено, что 200 км² морской поверхности вблизи точки всплытия имеют высокую вероятность загрязнения нефтяными плёнками естественного происхождения. Кроме того, показано, что более 2000 км² морской поверхности в районе подводного сипа потенциально подвержены загрязнению, так как под действием постоянного ветра и течений нефтяная плёнка может распространяться на достаточно большие расстояния — вплоть до 35 км от точки всплытия. Статистическая достоверность полученных результатов обусловлена большим объёмом проанализированных данных.

Ключевые слова: спутниковое дистанционное зондирование, морская поверхность, нефтяное загрязнение, естественные выходы нефтеуглеводородов с морского дна, Каспийское море

Одобрена к печати: 19.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298

Выходы нефтеуглеводородов с морского дна широко распространены географически и выделяют нефть из недр на поверхность в течение длительных промежутков геологического времени. Они обнаружены во многих районах Мирового океана и чаще всего происходят в виде нефтяных сипов (факелы углеводородов при просачивании нефти на дне) или грязевых вулканов и грифонов (Патин, 2017). Все основные нефтеносные провинции, расположенные в шельфовых зонах, характеризуются наличием выходов углеводородов с морского дна, в то время как обратное, вообще говоря, неверно (Selley, Sonnenberg, 2015).

Просачивающаяся с морского дна нефть, достигая поверхности, формирует на ней тонкую плёнку — нефтяной слик, дрейф и растекание которого определяются совместным воздействием ветра и поверхностных течений. Наличие поверхностной плёнки приводит к понижению интенсивности волно-ветрового взаимодействия и затуханию резонансной гравитационно-капиллярной компоненты поверхностного волнения. Вследствие этого плёночные слики проявляются на радиолокационных изображениях, полученных спутниковыми радиолокаторами с синтезированной апертурой (РСА) как области пониженного рассеяния, которые могут служить индикаторами загрязнения поверхности (Митягина, Чурюмов, 2006; Jenkins, Jacobs, 1997). Естественные нефтепроявления отчётливо видны и на изображениях, цветосинтезированных по данным сенсоров оптического диапазона, особенно полученных в области солнечного блика, как характерные радужные структуры повышенной яркости, окружённые тёмным ореолом. Высокое пространственное разрешение современных космических РСА позволяет с необходимой точностью детектировать нефтяные загрязнения даже относительно небольшого размера и оценивать их параметры (Лаврова и др., 2011, 2016).

Наш многолетний опыт спутниковых наблюдений показал, что общая картина загрязнения поверхности Каспийского моря нефтесодержащими плёнками во многом предопределена его природными особенностями, главной из которых является наличие больших запасов нефти и газа на дне (Mityagina, Lavrova, 2016; Mityagina et al., 2019).

К сожалению, публикации, базирующиеся на спутниковых наблюдениях за нефтяным загрязнением поверхности Каспийского моря, немногочисленны и посвящены главным образом исследованиям района нефтедобычи Нефтяные Камни в Среднем Каспии (Баурамов et al., 2018; Ivanov et al., 2012), а также западного склона Южно-Каспийской впадины, где сосредоточено большое количество грязевых вулканов (Иванов и др., 2007; Митягина, Лаврова, 2012). В прошлом году опубликованы результаты двух научных групп по спутниковым наблюдениям естественных выходов нефтеуглеводородов с морского дна в юго-западной части Каспийского моря вблизи мыса Сафид Руд, относящегося к территории Ирана (Ivanov et al., 2019; Mityagina et al., 2019). Нам удалось найти также публикацию, посвящённую спутниковым наблюдениям за судовыми сбросами в казахстанском секторе Каспийского моря (Holstein et al., 2018). По всей видимости, малое количество опубликованных результатов объясняется тем, что ни в одном прикаспийском государстве, кроме России, не ведётся регулярный спутниковый мониторинг Каспия.

В ходе проведения спутникового мониторинга в 2019 г. наше внимание привлёк участок акватории Каспийского моря над континентальным шельфом к западу от п-ова Челекен (Туркменистан). На спутниковых изображениях этого участка регулярно выявлялись плёночные слики, обладающие всеми определяющими признаками поверхностных проявлений естественных выходов углеводородов с морского дна, а именно строгой приуроченностью точки всплытия, являющейся исходной точкой для множества выявленных сликов, к определённым географическим координатам и повторяемостью их проявления в спутниковых данных.

С целью подтверждения гипотезы генетической связи между нефтяными сликами на поверхности и наличием на морском дне естественного выхода нефтеуглеводородов был проведён ретроспективный анализ спутниковых данных, полученных для этого района в 2007–2020 гг. Анализ (таблица) выполнялся с использованием возможностей и инструментария информационного спутникового сервиса See the Sea (STS), разработанного в Институте космических исследований Российской академии наук (Лаврова и др., 2019; Лупян и др., 2012; Mityagina et al., 2014). Всего было проанализировано 823 спутниковых изображения, на которых было выявлено 320 нефтепроявлений естественного происхождения.

Проанализированные спутниковые данные

Сенсор	Временной промежуток	Количество изображений
ASAR (Envisat)	январь 2007 г. – март 2012 г.	133
SAR-C (Sentinel-1A/B)	октябрь 2014 г. – апрель 2020 г.	396
TM (Landsat-5)	январь 2007 г. – август 2011 г.	61
MSI (Sentinel-2A/B)	август 2015 г. – апрель 2020 г.	105
OLI/TIRS (Landsat-8)	июнь 2013 г. – апрель 2020 г.	128

На *рис. 1а–в* (см. с. 294) представлены радиолокационные образы естественных нефтепроявлений, типичные для континентального склона у п-ова Челекен, зарегистрированные в разные годы, сезоны и дни. Фрагменты цветосинтезированных изображений, основанных на данных видимого диапазона, полученных для этого района в области солнечного блика, показаны на *рис. 1г–е*. На них отчётливо выделяются яркие полосы, окружённые тёмным ореолом.

С помощью картографического интерфейса, интегрированного в систему STS, составлена карта распространения естественных нефтепроявлений, выявленных по спутниковым данным на морской поверхности в районе туркменского шельфа вблизи п-ова Челекен (*рис. 2*, см. с. 294).

Рис. 1. Примеры проявлений сликовых структур в спутниковых данных, полученных над выходом нефтеуглеводородов с морского дна в районе туркменского шельфа: а — ASAR (Envisat) от 7 сентября 2007 г., 18:13 GMT; б — ASAR (Envisat) от 27 июня 2010 г., 06:42 GMT; в — SAR-C (Sentinel-1A) от 10 марта 2020 г., 02:36 GMT; г — TM (Landsat-5) от 19 июня 2007 г., 07:07 GMT; д — MSI (Sentinel-2A) от 18 мая 2018 г., 07:28 GMT; е — OLI (Landsat-8) от 17 сентября 2019 г., 07:07 GMT

Рис. 2. Обобщённая карта-схема нефтяного загрязнения морской поверхности в районе естественных выходов углеводородов со дна в юго-восточной части Каспийского моря, построенная по спутниковым данным

Местоположению источника углеводородов на морском дне соответствуют координаты $52^{\circ} 36,2'$ в. д., $39^{\circ} 32,9'$ с. ш. повторяющейся точки всплытия 320 нефтепроявлений, детектированных по спутниковым изображениям тестового района в 2007–2020 гг. Источник расположен на континентальном шельфе на глубине примерно 25 м и на расстоянии 44 км от западной оконечности п-ова Челекен. Индивидуальная площадь нефтяных сликов, выявленных на спутниковых изображениях, изменяется в широких пределах — от десятых долей до десятков квадратных километров. Площадь поверхности, имеющая высокую вероятность загрязнения нефтяными плёнками естественного происхождения, составляет около 200 км^2 . В условиях,

когда преобладающее направление ветра и течений сохраняется длительное время, нефтяная плёнка может распространяться на достаточно большие расстояния — вплоть до 35 км от точки всплытия. Вследствие этого более 2000 км² морской поверхности в районе подводного сипа потенциально подвержены загрязнению.

Представленные в статье результаты призваны восполнить имеющиеся пробелы в ныне существующих представлениях об общей картине нефтяного загрязнения поверхности Каспийского моря и являются ещё одним свидетельством необходимости проведения непрерывного спутникового мониторинга всей морской акватории. Возможности подобного мониторинга на сегодняшний день обеспечены современными системами и технологиями (Лаврова и др., 2016).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 19-77-20060. Обработка и анализ спутниковых данных осуществлялись с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» (Лупян и др., 2015; 2019) с помощью инструментария информационной системы See the Sea, развитие которой осуществляется в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Литература

1. Иванов А. Ю., Голубов Б. Н., Затыгалова В. В. О нефтегазонасности и разгрузке подземных флюидов в южной части Каспийского моря по данным космической радиолокации // Исслед. Земли из космоса. 2007. № 2. Р. 62–81.
2. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
3. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
4. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Лупян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
5. Лупян Е. А., Матвеев А. А., Уваров И. А., Бочарова Т. Ю., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Спутниковый сервис See the Sea — инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–261.
6. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычуглов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
7. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашицкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Радченко М. В., Сычуглов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
8. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Многолетний комплексный спутниковый мониторинг нефтяных загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 269–288.
9. Митягина М. И., Чурюмов А. Н. Механизмы формирования радиолокационного сигнала в области нефтяного загрязнения на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. Т. 3. № 2. С. 135–139.
10. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа. В 2-х т. Т. 1. Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
11. Bayramov E., Knee K., Kada M., Buchroithner M. Using multiple satellite observations to quantitatively assess and model oil pollution and predict risks and consequences to the shoreline from oil platforms in the Caspian Sea // Human and Ecological Risk Assessment: Intern. J. 2018. V. 24. No. 6. P. 1501–1514. DOI: 10.1080/10807039.2017.1416454.

12. Holstein A., Kappas M., Propastin P., Renchin T. Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data // Environmental Earth Sciences. 2018. V. 77. P. 198. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
13. Ivanov A. Yu., Dostovalov M. Yu., Sineva A. A. Characterization of oil pollution around the oil rocks production site in the Caspian Sea using spaceborne polarimetric SAR imagery // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2012. V. 48. No. 9. P. 1014–1026. URL: <https://doi.org/10.1134/S0001433812090058>.
14. Ivanov A. Yu., Gerivani H., Evtushenko N. Characterization of natural hydrocarbon seepage in the South Caspian Sea off Iran using satellite SAR and geological data // Marine Georesources and Geotechnology. 2019. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1600175.
15. Jenkins A. D., Jacobs S. J. Wave damping by a thin layer of viscous fluid // Physics of Fluids. 1997. V. 9. No. 5. P. 1256–1264.
16. Mityagina M., Lavrova O. Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas // Remote Sensing. 2016. V. 8. P. 875–899. URL: <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
17. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Uvarov I. A. See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE. 2014. 92401C. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2067300>.
18. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G. Main pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data // Ecologica Montenegrina. 2019. V. 25. P. 91–105. URL: www.biotaxa.org/em.
19. Selley R. C., Sonnenberg S. A. Elements of Petroleum Geology. Elsevier, 2015. 526 p. URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386031-6.00009-6>.

A point of petroleum hydrocarbons emission from the seabed in the Turkmenian shelf area of the Caspian Sea discovered via satellite data

M. I. Mityagina, O. Yu. Lavrova

*Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: mityag@iki.rssi.ru*

A previously unknown seep of petroleum hydrocarbons from the seabed was discovered in the course of multisensor satellite monitoring of the Caspian Sea, which was carried out in 2019–2020. The site of the seep source is located in the shelf area of the Caspian Sea near the Cheleken Peninsula (Turkmenistan). A retrospective analysis of the radar and optical satellite data obtained over this region for 2007–2020 was performed. The source point on the seabed in the Cheleken area was documented as the persistent location of origins of 320 oil slicks detected in satellite images taken over the region of interest in 2007–2020. A detailed map of the sea surface oil pollution caused by natural hydrocarbons showings from the seabed in the Turkmenian shelf area of the Caspian Sea was put together. It was discovered that 200 km² of the sea surface near the emersion point has a high probability of pollution by oil films of natural origin. Further, it was shown that more than 2000 km² of the sea surface in the area of the underwater seep is potentially exposed to oil contamination since the oil film can spread under the influence of constant wind and currents over fairly large distances — up to 35 km from the source point. A large amount of the data available allowed us to obtain statistically significant results.

Keywords: satellite remote sensing, sea surface, oil pollution, natural hydrocarbon emissions from the seabed, the Caspian Sea

Accepted: 19.04.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298

References

1. Ivanov A. Yu., Golubov B. N., Zatyagalova V. V., O neftegazonosnosti i razgruzke podzemnykh flyuidov v yuzhnoi chasti Kaspiiskogo morya po dannym kosmicheskoi radiolokatsii (On Oil-Gas-Bearing and Unloading of Underground Fluids in the Southern Part of the Caspian Sea Using Synthetic Aperture Radar Images), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2007, No. 2, pp. 62–81.
2. Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Mityagina M. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A., *Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii* (Complex Satellite Monitoring of the Russian Seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 480 p.
3. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., *Sputnikovye metody vyyavleniya i monitoringa zon ekologicheskogo riska morskikh akvatorii* (Satellite methods for detecting and monitoring marine zones of ecological risk), Moscow: IKI RAN, 2016, 334 p.
4. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Uvarov I. A., Loupian E. A., Tekushchie vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informatsionnoi sistemy See the Sea dlya izucheniya i monitoringa yavlenii i protsessov na morskoi poverkhnosti (Current capabilities and experience of using the See the Sea information system for studying and monitoring phenomena and processes on the sea surface), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 266–287, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
5. Loupian E. A., Matveev A. A., Uvarov I. A., Bocharova T. Yu., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Sputnikovyi servis See the Sea — instrument dlya izucheniya protsessov i yavlenii na poverkhnosti okeana (The Satellite Service See the Sea — a tool for the study of oceanic phenomena and processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 251–261.
6. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskii A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Tsentr kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
7. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kollektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh (TsKP IKI-Monitoring) (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
8. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Mnogoletnii kompleksnyi sputnikovyi monitoring neftyanykh zagryaznenii poverkhnosti Baltiiskogo i Kaspiiskogo morei (Long-term complex satellite monitoring of the surface oil pollution of the Baltic and Caspian Seas), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 5, pp. 269–288.
9. Mityagina M. I., Churyumov A. N., Mekhanizmy formirovaniya radiolokatsionnogo signala v oblasti neftyanogo zagryazneniya na morskoi poverkhnosti (Mechanisms of the radar signal generation in an oil pollution area on the sea surface), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2006, Vol. 3, No. 2, pp. 135–139.
10. Patin S. A., *Neft' i ekologiya kontinental'nogo shel'fa, V 2 t., T. 1, Morskoi neftegazovyi kompleks: sostoyanie, perspektivy, faktory vozdeistviya* (Oil and continental shelf ecology, Vol. 1, Offshore oil and gas industry: actual situation, prospects, factors of impact), Moscow: Izd. VNIRO, 2017, 326 p.
11. Bayramov E., Knee K., Kada M., Buchroithner M., Using multiple satellite observations to quantitatively assess and model oil pollution and predict risks and consequences to the shoreline from oil platforms in the Caspian Sea, *Human and Ecological Risk Assessment: Intern. J.*, 2018, Vol. 24, No. 6, pp. 1501–1514, DOI: 10.1080/10807039.2017.1416454.
12. Holstein A., Kappas M., Propastin P., Renchin T., Oil spill detection in the Kazakhstan sector of the Caspian Sea with the help of ENVISAT ASAR data, *Environmental Earth Sciences*, 2018, Vol. 77, pp. 198, available at: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7347-0>.
13. Ivanov A. Yu., Dostovalov M. Yu., Sineva A. A., Characterization of oil pollution around the oil rocks production site in the Caspian Sea using spaceborne polarimetric SAR imagery, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2012, Vol. 48, No. 9, pp. 1014–1026, available at: <https://doi.org/10.1134/S0001433812090058>.
14. Ivanov A. Yu., Gerivani H., Evtushenko N., Characterization of natural hydrocarbon seepage in the South Caspian Sea off Iran using satellite SAR and geological data, *Marine Georesources and Geotechnology*, 2019, DOI: 10.1080/1064119X.2019.1600175.

15. Jenkins A. D., Jacobs S. J., Wave damping by a thin layer of viscous fluid, *Physics of Fluids*, 1997, Vol. 9, No. 5, pp. 1256–1264.
16. Mityagina M., Lavrova O., Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas, *Remote Sensing*, 2016, Vol. 8, pp. 875–899, available at: <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
17. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Uvarov I. A., See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, Proc. SPIE*, 2014, 92401C, available at: <https://doi.org/10.1117/12.2067300>.
18. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G., Main pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data, *Ecologica Montenegrina*, 2019, Vol. 25, pp. 91–105, available at: www.biotaxa.org/em.
19. Selley R. C., Sonnenberg S. A., *Elements of Petroleum Geology*, Elsevier, 2015, 526 p., available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386031-6.00009-6>.