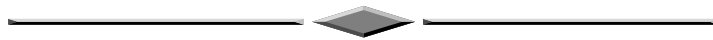


# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ



УДК 528.8:[502.3:33+502.5:665.6/.7]  
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-2-37-46

## ДАнные ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕФТЬЮ

*Антонина Сергеевна Гордиенко*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

*Екатерина Николаевна Кулик*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: e.n.kulik@sgugit.ru

В статье обоснована актуальность вопроса применения данных дистанционного зондирования Земли при оценке эколого-экономического ущерба от загрязнений окружающей среды нефтью. Описываются основные подходы к эколого-экономической оценке ущерба и методы такой оценки. Приводятся их достоинства и недостатки. Обсуждаются результаты выполненного обзора. Выявлены основные факторы, влияющие на экономические и экологические последствия, связанные с загрязнением окружающей среды разливами нефти. Выполнен анализ возможностей применения данных дистанционного зондирования Земли для определения представленных факторов. Предложены направления дальнейших исследований по разработке методик определения типов и масштабов загрязнений нефтепродуктами, адаптированных для разных природно-территориальных комплексов.

**Ключевые слова:** последствия разливов нефтепродуктов, данные дистанционного зондирования, экологический ущерб, экономический ущерб, негативное воздействие, нефтяные пленки, радиолокационные снимки, многоспектральные снимки

### *Введение*

Несмотря на высокие темпы технического прогресса, тотальную цифровизацию общества, экологизацию и популярность «зеленой» политики, актуальным есть и будет оставаться использование нефтепродуктов в большинстве сфер человеческой деятельности. Нефтедобывающая отрасль является экологически опасной еще на этапе добычи, позже – на стадии транспортировки до производств его переработки и последующем движении готовых нефтепродуктов до конечных потребителей,

замыкая свое вредоносное действие выбросом вредных веществ при их потреблении. Поэтому для анализа экологического и экономического ущерба от нефтезагрязнений необходимо акцентировать внимание на необходимости проводить комплексную оценку всех потенциальных проекций загрязнения, детализируя каждую из составляющих всей цепи (от разработки углеводородного месторождения до выхлопа продуктов горения), имеющих обыкновение косвенно провоцировать усиление опасных эффектов и влияний по принципу наложения «снежного кома».

Вопрос определения ущерба может возникать, как минимум, при двух аспектах: априорном (при прогнозном анализе и расчете ставок в процедуре страхования потенциальных рисков) и апостериорном (многофакторная оценка случившихся фактов утечки) анализе реальных фактов загрязнения.

В работе будут рассмотрены загрязнения окружающей среды сырой нефтью, происходящие в результате аварий при ее добыче и первичной транспортировке. При этом достаточно сложно зафиксировать и оценить все аспекты ущерба, наносимого нефтепродуктами окружающей среде и здоровью человека и учесть все факторы при эколого-экономической оценке потерь.

Для снижения риска и степени ущерба необходимо планировать и проводить мероприятия, часть из которых включаются еще на этапе проектирования и строительства путей транспортировки нефти. Например, грамотное формирование защитных сооружений напрямую может сказаться на снижении угрозы загрязнения. При авариях же необходимо оперативно и комплексно осуществлять мероприятия по их ликвидации, оценивать ущерб и планировать мероприятия по восстановлению природных ресурсов.

Даже небольшие аварии (нефтеразливы) могут иметь существенные последствия, распространяемые на обширные территории.

Как известно, данные дистанционного зондирования Земли являются объективным и точным документальным источником информации. Современные космические съемочные системы позволяют обновлять информацию до нескольких раз в сутки. Кроме того, широкий диапазон пространственного и спектрального разрешения получаемых данных дает возможность выполнять оперативный мониторинг чрезвычайных ситуаций, в число которых входят и аварии в нефтедобывающей отрасли.

Таким образом, цель данного исследования – анализ информационных возможностей данных дистанционного зондирования Земли для выявления оценочных факторов, влияющих на масштаб экономических и экологических последствий загрязнения окружающей среды разливами нефти.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- рассмотреть основные подходы, применяемые в России и за рубежом к оценке эколого-экономического ущерба;
- выявить основные факторы, влияющие на последствия, связанные с загрязнением окружающей среды разливами нефти;
- проанализировать информационные возможности данных дистанционного зондирования при оценке эколого-экономического ущерба.

### **Методы и материалы**

Современные экологические проблемы являются доказательством техногенного воздействия на природу, которое, дестабилизируя устойчивость биосферы, приводит к кризисным и катастрофическим последствиям.

Для предотвращения нежелательных явлений в ходе эксплуатации техногенных объектов необходимо иметь в распоряжении массу пространственно позиционированных данных. Для их сбора используются контрольно-измерительные системы и сети датчиков, характеризующих состояние окружающей среды (ОС), которые используются для контроля качества воды, воздуха, почвы, геофизических напряжений в земной коре и др. С середины 70-х гг. XX в. количество и качество экоданных возросло благодаря совершенствованию методов их сбора и обработки. Такие банки данных являются основой экспертного управления охраной ОС и принятия организационно-управленческих и инженерно-технологических решений в этой сфере.

В настоящее время все чаще и чаще для получения экологической информации используются данные дистанционного зондирования Земли со спутников. При изучении земной поверхности дистанционными методами носителем информации об объектах служит их излучение, как собственное, так и отраженное. Фиксируемые характеристики излучения зависят от пространственного положения, свойств и состояния объекта, что и способствует его дистанционной идентификации.

Вследствие загрязнения нефтепродуктами нарушаются жизненные циклы экосистем, что проявляется в гибели организмов, деградации почв, истощении и загрязнении подземных и поверхностных вод, затоплении и заболачивании территории, загрязнении атмосферного воздуха, изменении микроклимата и др. Все эти факты являются угрозой для сельского хозяйства и других отраслей, использующих природные ресурсы, подвергшиеся загрязнению.

Как правило, оценка ущерба выполняется отдельно для следующих составляющих окружающей среды: почва, водные объекты, воздух. Дополнительно могут рассматриваться объекты флоры и фауны, а также убытки, вызванные необходимостью ликвидации негативных воздействий [1–3]: рекультивация и экологическая реабилитация нарушенных земель, очистка водной поверхности и др.

Существуют различные подходы к оценке экологического ущерба от разливов нефтепродуктов, которые регламентируются следующими документами: Приказ Минприроды России от 13.04.2009 № 87 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (с изменениями и дополнениями), Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 25.04.2014) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» (Зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364), Приказ Минприроды России от 25.12.2011 № 1166 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам» (Зарегистрировано в Минюсте России 05.03.2012 № 23404).

Методики оценки воздействия загрязнений на окружающую среду, рекомендуемые в РФ, как правило, реализуют покомпонентный анализ. А для объективной и полной оценки влияния негативных факторов необходимо выполнять комплексную оценку.

При оценке экологического ущерба в международной практике выполняется определение затрат на восстановительные работы по реабилитации территорий загрязненных разливами нефтепродуктов. К этим затратам от-

носятся затраты на восстановление исходного состояния территорий, компенсации в связи с нарушением функций загрязненных территорий, а также расходы, связанные с оценкой ущерба.

Помимо этого, в зарубежной практике [4–6] выполняют количественную оценку ущерба, разработку восстановительных мероприятий, а также оценку компенсаций, при этом учитывается время на восстановление и масштабы/объемы утраченных ресурсов.

Таким образом затраты при оценке экологического ущерба можно разделить на три группы:

- 1) затраты на мероприятия по очистке территорий от загрязнений;
- 2) затраты на восстановление природных ресурсов;
- 3) дополнительные затраты, направленные на компенсацию убытков и ущерба окружающей среде и экономике.

В методических рекомендациях РФ, регламентирующих оценку и компенсацию загрязнений территорий нефтепродуктами, как правило, окружающая среда рассматривается как три отдельные составляющие: почва, объекты гидрографии и атмосфера. Основными показателями являются объем (масса) и площадь загрязнения нефтью, поступившей в окружающую среду в результате аварии. Степень загрязнения окружающей среды сложно нормировать. Для ее оценки учитывают ущерб сельскому хозяйству, лесному хозяйству, почвенному покрову, затраты на очистку загрязненной территории, восстановление почв, затраты на восстановление и очистку поверхностных и подземных вод, восстановление растительного и животного мира водных экосистем, а также затраты на реализацию мероприятий по компенсации негативных последствий загрязнения природных объектов и многое другое.

Кроме того, необходимо учитывать и косвенные факторы, влияющие на оценку ущерба от разливов нефтепродуктов. Например, разлив нефти на водной поверхности приведет к снижению или прекращению рыбной ловли. Загрязнение сельхозугодий приведет к потерям урожая и т. п.

## Результаты

Таким образом, исследование основ эколого-экономической оценки ущерба от загрязнения окружающей среды нефтепродуктами позволяет сформулировать следующие выводы.

Нефтедобывающая и транспортирующая промышленность наносят существенный вред окружающей среде, что требует значительных затрат на предотвращение загрязнений и наличия резерва средств (зачастую это вопрос страхования рисков) на восстановление природных ресурсов на случай потенциальных аварий.

Основными факторами, которые влияют на экономические и экологические последствия, связанные с загрязнением окружающей среды разливами нефти, являются:

- объем поступающих загрязнений в окружающую среду;
- площадь загрязнения;
- виды экономической деятельности, осуществляемые в зоне воздействия нефтяного загрязнения на природные системы;
- затраты на ликвидацию негативных последствий загрязнений.

Проанализируем возможности данных дистанционного зондирования Земли для определения факторов, представленных выше.

Для обнаружения разливов нефтепродуктов используются данные дистанционного зондирования, полученные как активными съемочными системами, так и пассивными.

Радиолокационные методы хорошо зарекомендовали себя при распознавании нефтяных пленок на водной поверхности. Наибольший контраст между нефтью и водой – в  $X$ -диапазоне, умеренный – в  $C$ -диапазоне и самый низкий – в  $L$ -диапазоне. Но нефтяные пятна, особенно при слабом ветре, нелегко отличить от проявлений других явлений и объектов, таких как органические пленки, некоторые типы льда, области, затененные сушей, внутренние волны и т. п. [7–13].

Выявлять пятна нефтеразливов на суше сложнее, чем на воде. Распознавание нефти на суше требует многоспектральных данных, полученных с высоким пространственным раз-

решением [14]. В качестве косвенного признака наличия разлива нефти может выступать изменение спектральной отражательной способности растительности [15].

Нефть отрицательно влияет на вегетацию растительности, как прямо, так и косвенно. Она оказывает непосредственное воздействие на метаболизм растений, так как загрязняющее покрытие листьев предотвращает газообмен между листьями и атмосферой, приводя к их гибели [16–18]. Нефть также оказывает косвенное воздействие на растения, когда присутствует в почве, уменьшая обмен кислорода между атмосферой и почвой, влияя на круговорот питательных веществ. На уровне экосистемы постепенно разрушающиеся растения после разлива нефти приводят к переходу от заболоченных земель к голой почве или воде. Период восстановления территории от воздействия нефти может занять от нескольких месяцев до нескольких лет, особенно потому, что различные сообщества водно-болотных угодий, наличие которых свойственно районам нефтедобычи в РФ, различаются по своей восприимчивости к воздействию нефти [19–23].

Использование данных, полученных в видимой области электромагнитного спектра, не позволяет однозначно идентифицировать разливы нефтепродуктов. Это связано с тем, что невозможно использовать снимки, полученные в темное время суток, с наличием облачности, а также солнечных бликов [24–26].

Снимки, полученные в инфракрасном диапазоне спектра, также не позволяют однозначно обнаружить нефть, так как природные объекты могут выглядеть как нефть (водоросли, отложения, органические вещества, береговая линия и др.) [27–29]. Ближний инфракрасный диапазон спектра применяется для определения остаточной заболоченности нефтью [30, 31].

Ультрафиолетовое излучение также однозначно не определяет нефтяные разливы. Этому мешают солнечные блики и биологический материал [32].

Микроволновый сигнал изменяется в зависимости от толщины масла, поэтому для измерения толщины нефтяного пятна можно

использовать радиометрию. Однако существуют помехи: микроволновый радиометр имеет низкое пространственное разрешение (обычно десятки метров). В настоящее время акцент в исследованиях делается на использование нескольких диапазонов длин волн микроволнового излучения для измерения толщины пятна [33].

Один из способов выявления нефтяных пленок основан на системе спектральных признаков [34], позволяющей при обработке гиперспектральных изображений не только обнаруживать пленки, но и отделять их от зон распространения фитопланктона, имеющих с загрязнениями схожие спектры. Недостатком данного способа является то, что подразделение нефтяных пленок производится только на два класса в зависимости от толщины. Способ применим только для нефтяных загрязнений на водной поверхности и не позволяет проводить обнаружение нефтяных загрязнений на земной поверхности.

## Заключение

Таким образом, необходимо развивать и совершенствовать методики и инструментарий для определения типов и масштабов загрязнений нефтепродуктами по данным аэрокосмических съемок, а также для получения их количественных характеристик. Это позволит определять с высокой точностью не только площадь загрязнений, но и негативные последствия, вызванные разливами нефти (такие как угнетение растительности, загрязнение почв и водоемов и др.). Данные дистанционного зондирования Земли позволяют получать количественные показатели для оценки эколого-экономического ущерба от загрязнений окружающей среды нефтью. Но требуется разработка методик анализа материалов съемки, адаптированных для разных природно-территориальных комплексов, так как помимо определения площади поражения необходимо учитывать типы и глубину воздействия разливов нефти на окружающую среду.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Апулу О. Г., Энгерибо Т., Энгерибо А. В. Последствия воздействий добывающей промышленности на окружающую среду // Экономика и предпринимательство. – 2017. – № 7 (84). – С. 33–36.
2. Медведева О., Соловьева С. Методика стоимостной оценки ущерба, причиняемого загрязнением атмосферного воздуха // Вопросы оценки. – 2016. – № 4 (86). – С. 2–6.
3. Порфирьев Б. Н., Макарова Е. А. Экономическая оценка ущерба от природных бедствий и катастроф // Вестник Рос. акад. наук. – 2014. – Т. 84, № 12. – С. 1059–1072.
4. Апулу О. Г. Рекультивация нефтезагрязненных земель в Нигерии // Наука и мир. Международный научный журнал. – 2017. – Т. 1, № 2 (42). – С. 96–100.
5. Витухин А. Д., Тулупов А. С. Информационно-аналитическая система методического обеспечения оценки вреда от нарушения природоохранного законодательства // Россия в XXI веке: глобальные вызовы и перспективы развития : материалы V Межд. форума. – М., 2016. – С. 267–274.
6. Умнов В. А., Эбрахими А. Т. Анализ эколого-экономических рисков на предприятиях нефтегазового сектора экономики // Актуальные проблемы государственного и муниципального управления: IV Сперанские чтения : сб. статей Межд. науч. конф. – М. : Российский государственный гуманитарный университет, 2017. – С. 194–199.
7. Marzioletti P., Laneve G. Oil spill monitoring on water surfaces by radar L, C and X band SAR imagery: A comparison of relevant characteristics // Proceedings of the 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10–15 July. – Beijing, China, 2016. – P. 7715–7717.
8. Liu P., Zhao C., Li X., He M., Pichel W. Identification of ocean oil spills in SAR imagery based on fuzzy logic algorithm // International Journal of Remote Sensing. – 2010. – Vol. 31. – P. 4819–4833.
9. Minchew B., Jones C. E., Holt B. Polarimetric analysis of backscatter from the Deepwater Horizon oil spill using L-band synthetic aperture radar // IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. – 2012. – Vol. 50. – P. 3812–3830.

10. Nunziata F., Buono A., Migliaccio M. A new look at the old sea oil slick observation problem: Opportunities and pitfalls of SAR polarimetry // Proceedings of the 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10–15 July. – Beijing, China, 2016. – P. 4027–4030.
11. Collins M. J., Denbina M., Minchew B., Jones C. E., Holt B. On the Use of Simulated Airborne Compact Polarimetric SAR for Characterizing Oil-Water Mixing of the Deepwater Horizon Oil Spill // IEEE Journal of Selected Topics Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2015. – Vol. 8. – P. 1062–1077.
12. Guo H., Wu D., An J. Discrimination of Oil Slicks and Lookalikes in Polarimetric SAR Images using CNN // Sensors. – 2017. – Vol. 17. – 1837 p.
13. Chen G., Li Y., Sun G., Zhang Y. Application of Deep Networks to Oil Spill Detection Using Polarimetric SAR Images // Applied Sciences. – 2017. – Vol. 7. – 968 p.
14. Khanna S., Santos M. J., Ustin D. S. L., Koltunov A., Kokaly R. F., Roberts D. A. Detection of salt marsh vegetation stress after the Deepwater Horizon BP oil spill along the shoreline of gulf of Mexico using AVIRIS data // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8. – P. e78989.
15. Noomen M., Smith K. L., Colls J. J., Stevens M. D., Skidmore A. K., van der Meer F. D. Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage // International journal of remote sensing. – 2008. – Vol. 29(20). – P. 5987–6008.
16. Hester M. W., Mendelsohn I. A. Long-term recovery of a Louisiana brackish marsh plant community from oil-spill impact: Vegetation response and mitigating effects of marsh surface elevation // Marine Environmental Research. – 2000. – Vol. 49. – P. 233–254.
17. Khanna S., Santos M., Koltunov A., Shapiro K., Lay M., Ustin S. Marsh Loss Due to Cumulative Impacts of Hurricane Isaac and the Deepwater Horizon Oil Spill in Louisiana // Remote Sensing. – 2017. – Vol. 9. – 169 p.
18. Токарева О. С., Климентьев Д. С. Оценка последствий нефтяных разливов на основе данных дистанционного зондирования Земли // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. – Т. 4. – С. 130–133.
19. Алексеева М. Н., Яценко И. Г. Использование космических снимков и геоданных для оценки экологических рисков при разливах нефти // СИББЕЗОПАСНОСТЬ-СПАССИБ-2013. Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов (Новосибирск, 25–27 сентября 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 3–7.
20. Ефимова М. В., Стрих Н. И., Курбанов В. Ш. Воздействие нефтегазового комплекса на экосистемы Ханты-Мансийского автономного округа-Югры // Региональные геосистемы. – 2011. – Т. 14, № 3-1 (98). – С. 110–114.
21. Яценко И. Г., Перемитина Т. О. Мониторинг экологического состояния нефтедобывающих территорий Западной Сибири с применением данных дистанционного зондирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – Т. 1. – С. 89–93.
22. Разакова М. Г. Выявление и картирование нефтяных загрязнений почв по данным дистанционного зондирования // Проблемы информатики. – 2017. – № 4 (37). – С. 4–15.
23. Кусков А. П. Применение данных дистанционного зондирования земли при инвентаризации нефтезагрязненных земель // Наука, техника и образование. – 2017. – № 7 (37). – С. 111–115.
24. Leifer I., Lehr B., Simecek-Beatty D., Bradley E., Clark R., Dennison P., Hu Y.; Matheson S., Jones C., Holt B., et al. State of the art satellite and airborne oil spill remote sensing: Application to the BP Deepwater Horizon oil spill // Remote Sensing of Environment. – 2012. – Vol. 124. – P. 185–209.
25. Iler A. L., Hamilton P. D. Detecting oil on water using polarimetric imaging // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2015. – 9459 p.
26. Shen H.-Y., Zhou P.-C., Feng S.-R. Research on multi-angle near infrared spectral-polarimetric characteristic for polluted water by spilled oil // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2011. – 8193 p.
27. Chenault D. B., Vaden J. P., Mitchell D. A., Demicco E. D. Infrared polarimetric sensing of oil on water // Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering. – 2016. – 9999 p.
28. Pinel N., Monnier G., Sergievskaya I., Bourlier C. Simulation of infrared emissivity and reflectivity of oil films on sea surfaces // Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng. – 2015. – 9638 p.

29. Shih W.-C., Andrews A. B. Infrared contrast of crude-oil-covered water surfaces // *Optics Letters*. – 2008. – Vol. 33. – P. 3019–3021.
30. Kokaly R. F., Couvillion B. R., Holloway J. M., Roberts D. A., Ustin S. L., Peterson S. H., Khanna S., Piazza S. C. Spectroscopic remote sensing of the distribution and persistence of oil from the Deepwater Horizon spill in Barataria Bay marshes // *Remote Sensing of Environment*. – 2013. – Vol. 129. – P. 210–230.
31. Sicot G., Lennon M., Miegbielle V., Dubucq D. Analysis of the reflectance spectra of oil emulsion spilled on the sea surface // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. – 2014. – 9240 p.
32. Yin D., Huang X., Qian W., Huang X., Li Y., Feng Q. Airborne validation of a new-style ultraviolet push-broom camera for ocean oil spill pollution surveillance // *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*. – 2010. – 7825 p.
33. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing // *Marine Pollution Bulletin*. – 2018. – Vol. 18. – P. 9–23.
34. Жуков Д. В. Спектральные признаки для идентификации типовых загрязнений акваторий морей по данным авиационной и космической съемки // *Оптика атмосферы и океана*. – 2016. – Т. 29, № 07. – С. 560–565.

Получено 13.01.2021

© А. С. Гордиенко, Е. Н. Кулик, 2021

## REMOTE SENSING IN THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC DAMAGES FROM OIL POLLUTION

*Antonina S. Gordienko*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

*Ekaterina N. Kulik*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: e.n.kulik@sgugit.ru

The article presents the relevance of the issue of using remote sensing data in assessing environmental and economic damage from oil pollution. It describes the main approaches and methods of environmental and economic assessment of damage. It gives their advantages and disadvantages of the methods. It discusses the results of the study. The article also proposes the main factors influencing the economic and ecological consequences associated with environmental pollution by oil spills. It carries out the analysis of the capabilities of remote sensing data to determine the presented factors. And It proposes the directions of further research on the development of methods for determining the types and scales of oil pollution based on aerospace survey data, adapted for different natural-territorial complexes.

**Keywords:** results of oil spills, remote sensing data, environmental damage, economic damage, negative impact, oil pollution, radar images, multispectral images

## REFERENCES

1. Apulu, O. G., Engeribo, T., & Engeribo, A. W. (2017). The impact of mining production on the environment. *Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economy and Entrepreneurship]*, 7(84), 33–36 [in Russian].
2. Medvedeva, O., & Solovieva S. (2016). Methodology for the cost assessment of damage caused by atmospheric air pollution. *Voprosy otsenki [Assessment Questions]*, 4(86), 2–6 [in Russian].

3. Porfiryev, B. N., & Makarova E. A. (2014). Economic assessment of damage from natural disasters and catastrophes. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]*, 84(12), 1059–1072 [in Russian].
4. Apulu, O. G. (2017). Reclamation of oil-contaminated lands in Nigeria. *Nauka i mir. Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal [Science and World. International Scientific Journal]*, Vol. 1, No. 2(42), 96–100 [in Russian].
5. Vitukhin, A. D., & Tulupov A. S. (2016). Information and analytical system of methodological support for assessing harm from violation of environmental legislation. In *Sbornik materialov V Mezhdunarodnogo Foruma "Rossiya v XXI veke: global'nye vyzovy i perspektivy razvitiya" [Proceedings of V International Forum "Russia in the XXI Century: Global Challenges and Development Prospects"]* (pp. 267–274). Moscow [in Russian].
6. Umnov, V. A., & Ebrahimi A. T. (2017). Analysis of ecological and economic risks at enterprises of the oil and gas sector of the economy. In *Sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Aktual'nye problemy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya". IV Speranskie chteniya [Proceedings of International Scientific Conferences "Actual Problems of State and Municipal Management". IV Speranskie Readings]* (pp. 194–199). Moscow: Russian State University for the Humanities [in Russian].
7. Marzialetti, P., & Laneve, G. (2016). Oil spill monitoring on water surfaces by radar L, C and X band SAR imagery: A comparison of relevant characteristics. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10–15 July* (pp. 7715–7717). Beijing, China.
8. Liu, P., Zhao, C., Li, X., He, M., & Pichel, W. (2010). Identification of ocean oil spills in SAR imagery based on fuzzy logic algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 4819 – 4833.
9. Minchew, B., Jones, C. E., & Holt, B. (2012). Polarimetric analysis of backscatter from the Deepwater Horizon oil spill using L-band synthetic aperture radar. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 50, 3812–3830.
10. Nunziata, F., Buono, A., & Migliaccio, M. (2016). A new look at the old sea oil slick observation problem: Opportunities and pitfalls of SAR polarimetry. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 10–15 July* (pp. 4027–4030). Beijing, China.
11. Collins, M. J., Denbina, M., Minchew, B., Jones, C. E., & Holt, B. (2015). On the Use of Simulated Airborne Compact Polarimetric SAR for Characterizing Oil-Water Mixing of the Deepwater Horizon Oil Spill. *IEEE Journal of Selected Topics Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8, 1062–1077.
12. Guo, H., Wu, D., & An, J. (2017). Discrimination of Oil Slicks and Lookalikes in Polarimetric SAR Images using CNN. *Sensors*, 17, 1837 p.
13. Chen, G., Li, Y., Sun, G., & Zhang, Y. (2017). Application of Deep Networks to Oil Spill Detection Using Polarimetric SAR Images. *Applied Sciences*, 7, 968 p.
14. Khanna, S., Santos, M. J., Ustin, D. S. L., Koltunov, A., Kokaly, R. F., & Roberts, D. A. (2013). Detection of salt marsh vegetation stress after the Deepwater Horizon BP oil spill along the shoreline of gulf of Mexico using AVIRIS data. *PLoS ONE*, 8, e78989.
15. Noomen, M., Smith, K. L., Colls, J. J., Stevens, M. D., Skidmore, A. K., & van der Meer, F. D. (2008). Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage. *International Journal of Remote Sensing*, 29(20), 5987–6008.
16. Hester, M. W., & Mendelssohn, I. A. (2000). Long-term recovery of a Louisiana brackish marsh plant community from oil-spill impact: Vegetation response and mitigating effects of marsh surface elevation. *Marine Environmental Research*, 49, 233–254.
17. Khanna, S., Santos, M., Koltunov, A., Shapiro, K., Lay, M., & Ustin, S. (2017). Marsh Loss Due to Cumulative Impacts of Hurricane Isaac and the Deepwater Horizon Oil Spill in Louisiana. *Remote Sensing*, 9, 169 p.



18. Tokareva, O. S., & Klimentiev, D. S. (2010). Assessment of the consequences of oil spills based on the data of remote sensing of the Earth. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2010: T. 4 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2010: Vol. 4]* (pp. 130–133). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
19. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Using space images and geodata for assessing environmental risks in case of oil spills. In *Sbornik materialov SIBBEZOPASNOST'-SPASSIB-2013: Sovershenstvovanie sistemy upravleniya, predotvrashcheniya i dempfirovaniya posledstviy chrezvychaynykh situatsiy regionov i problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya [Proceedings of SIBBEZOPASNOST'-SPASSIB-2013: Improvement of the System of Management, Prevention and Damping of the Consequences of Emergency Situations in the Regions and Problems of Life Safety of the Population]* (pp. 3–7). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
20. Efimova, M. V., Strikh, N. I., & Kurbanov, V. Sh. (2011). Impact of the oil and gas complex on the ecosystems of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Yugra. *Regional'nye geosistemy [Regional Geosystems]*, Vol. 14, No. 3-1(98), 110–114 [in Russian].
21. Yashchenko, I. G., & Peremitina, T. O. (2015). Monitoring of the ecological state of oil-producing territories of Western Siberia using remote sensing data. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Distantionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Remote Sensing Methods and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 89–93). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
22. Razakova, M. G. (2017). Identification and mapping of oil pollution of soils using remote sensing data. *Problemy informatiki [Problems of Informatics]*, 4(37), 4–15 [in Russian].
23. Kuskov, A. P. (2017). Application of Earth Remote Sensing Data in Inventory of Oil-Contaminated Lands. *Nauka, tekhnika i obrazovanie [Science, Technology and Education]*, 7(37), 111–115 [in Russian].
24. Leifer, I., Lehr, B., Simecek-Beatty, D., Bradley, E., Clark, R., Dennison, P., Hu, Y.; Matheson, S., Jones, C., Holt, B., & et al. (2012). State of the art satellite and airborne oil spill remote sensing: Application to the BP DeepWater Horizon oil spill. *Remote Sensing of Environment*, 124, 185–209.
25. Iler, A. L., & Hamilton, P. D. (2015). Detecting oil on water using polarimetric imaging. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 9459 p.
26. Shen, H.-Y., Zhou, P.-C., & Feng, S.-R. (2011). Research on multi-angle near infrared spectral-polarimetric characteristic for polluted water by spilled oil. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 8193 p.
27. Chenault, D. B., Vaden, J. P., Mitchell, D. A., & Demicco, E. D. (2016). Infrared polarimetric sensing of oil on water. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 9999 p.
28. Pinel, N., Monnier, G., Sergievskaya, I., & Bourlier, C. (2015). Simulation of infrared emissivity and reflectivity of oil films on sea surfaces. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 9638 p.
29. Shih, W.-C., & Andrews, A. B. (2008). Infrared contrast of crude-oil-covered water surfaces. *Optics Letters*, 33, 3019 – 3021.
30. Kokaly, R. F., Couvillion, B. R., Holloway, J. M., Roberts, D. A., Ustin, S. L., Peterson, S. H., Khanna, S., & Piazza, S. C. (2013). Spectroscopic remote sensing of the distribution and persistence of oil from the Deepwater Horizon spill in Barataria Bay marshes. *Remote Sensing of Environment*, 129, 210–230.
31. Sicot, G., Lennon, M., Miegbielle, V., & Dubucq, D. (2014). Analysis of the reflectance spectra of oil emulsion spilled on the sea surface. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 9240 p.

32. Yin, D., Huang, X., Qian, W., Huang, X., Li, Y., & Feng, Q. (2010). Airborne validation of a new-style ultraviolet push-broom camera for ocean oil spill pollution surveillance. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 7825 p.
33. Fingas, M., & Brown, C. (2018). Review of oil spill remote sensing. *Marine Pollution Bulletin*, 18, 9–23.
34. Zhukov, D. V. (2016). Spectral signs for identification of typical pollution of sea water areas according to aerial and space survey data. *Optika atmosfery i okeana [Optics of the Atmosphere and Ocean]*, 29(07), 560–565 [in Russian].

Received 13.01.2021

© A. S. Gordienko, E. N. Kulik, 2021