

УДК 528.71: (622.69:622.323+574)

DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-77-87

Оценивание экологической обстановки в районах хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов на основе использования данных космического мониторинга

М. А. Сквасников¹✉, Д. Л. Колыгин¹

¹ Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: vka@mil.ru

Аннотация. Процессы, обеспечивающие транспортировку и хранение нефти и нефтепродуктов, связаны с рисками чрезвычайных ситуаций и угроз природной среде. Информационное обеспечение безопасности окружающей среды осуществляется путем своевременного сбора и обработки разнородных данных, поступающих в том числе от средств космического мониторинга. Применение средств дистанционного зондирования Земли позволяет оценивать техническое состояние зданий, резервуаров и трубопроводов, обнаруживать и идентифицировать разливы сырой нефти и нефтепродуктов, опасные отходы производства, а также источники утечки. Использование космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения обуславливает объектно-ориентированную интерпретацию предметов искусственного происхождения с использованием семантических признаков, описанных на естественном языке. В основе предлагаемого метода оценивания экологической обстановки в районах хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов лежит модель системы поддержки принятия решений на основе использования прецедентов. Для извлечения прецедентов применяется модифицированный метод ближайшего соседа с комплексным использованием метрик Евклида и Хэмминга. При этом важность параметров контролируемого объекта рассчитывается на основе экспертных данных. При описании текущей ситуации или прецедента разработан алгоритм применения неполной информации в исходных данных.

Ключевые слова: нефть и нефтепродукты, экологическая обстановка, космический мониторинг, модифицированный метод ближайшего соседа, метрика Евклида, метрика Хэмминга

Для цитирования:

Сквасников М. А., Колыгин Д. Л. Оценивание экологической обстановки в районах хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов на основе использования данных космического мониторинга // Вестник СГУГиТ. – 2025. – Т. 30, № 1. – С. 77–87. – DOI 10.33764/2411-1759-2025-30-1-77-87

Введение

В настоящее время информационное обеспечение большого перечня прикладных задач в экономической сфере нашего общества предполагает использование данных космической съемки. Наибольшую эффективность показал космический мониторинг площадных и территориально распределенных объектов, к которым относятся районы хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов (ННП). Результаты анализа актуальных материалов космической съемки используются на этапе предпро-

ектных работ для первичной оценки параметров территории для строительства трубопроводов и нефтебаз, последующего контроля земляных работ, оптимизации логистики доставки материалов, оценивания сроков и этапов строительства. На этапе эксплуатации объектов хранения и транспортировки ННП данные космического мониторинга используются для контроля за их техническим состоянием и соответствием нормативным параметрам.

Многokратное увеличение объема обрабатываемой информации диктует необходимость автоматизации процесса интерпретации дан-

ных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, основным содержательным этапом которого является распознавание объектов наблюдения и их состояния. При этом использование космических снимков высокого и сверхвысокого разрешения обуславливает объектно-ориентированную интерпретацию объектов искусственного происхождения с использованием семантических признаков, описанных на естественном языке.

Автоматизация процесса интерпретации данных космического мониторинга предполагает использование интеллектуальных систем поддержки принятия решения, в основе которых лежат модели представления знаний и оперирования логическими рассуждениями, ориентированные на определенную предметную область и конкретный тип неопределенности. Данные модели должны развиваться и адаптироваться к внешним условиям путем обучения.

В основе предлагаемого метода оценивания экологической обстановки в районах хранения и транспортировки нефти и нефтепродуктов лежит модель системы поддержки принятия решений на основе использования прецедентов. Прецедент представляет собой типовую ситуацию, возникающую на нефтеперерабатывающих заводах, нефтебазах и магистральных трубопроводах при авариях и катастрофах (например, разливах ННП, а также опасных отходов производства) и описанную в виде совокупности параметров с их значениями, а также ее решением (оценкой экологической обстановки) [1–5].

Применение средств дистанционного зондирования Земли позволяет решать следующие задачи: оценивание технического состояния зданий, резервуаров и трубопроводов; обнаружение и ликвидация разливов сырой нефти и нефтепродуктов, а также опасных отходов производства; идентификация регистрируемых разливов; обнаружение источников утечки [6–16].

Методы поддержки принятия решения на основе прецедентов

Системы поддержки принятия решения нашли широкое применение в различных отраслях человеческой деятельности. Медицин-

ская диагностика, юриспруденция, управление промышленным производством, электронная коммерция, логистика – в различных инновационных и сложных областях, где решение принимается на основе большого объема данных на основе обработки опыта, адаптации и совершенствования уже применявшихся ранее алгоритмов – именно здесь требуется использовать различные подотрасли искусственного интеллекта.

В данной сфере хорошо зарекомендовало себя направление, связанное с логическими обоснованиями на основе конкретных случаев, имевших место в прошлом, ранее созданных и сохраненных элементов опыта – прецедентов. Методы рассуждений на основе использования прецедентов показали свою эффективность в интеллектуальных системах поддержки принятия решения в целях мониторинга проблемных ситуаций, обучения и обеспечения деятельности оперативно-диспетчерской службы.

Основной отличительной особенностью методов рассуждений на основе прецедентов является усовершенствование (обучение) алгоритма принятия решения за счет коррекции описания прецедента на каждом CBR-цикле (case-based reasoning – это процесс (методология) решения новой задачи (проблемы) путем повторного использования и адаптации (при необходимости) решений, которые были получены ранее при решении подобных задач). Кроме того, для описания прецедента можно использовать данные, полученные как в результате опыта, так и от специалистов в данной области – экспертов.

CBR-цикл включает следующую последовательность действий: извлечение из базы наиболее соответствующего текущей ситуации прецедента; применение прецедента для принятия решения по данной ситуации; при необходимости – адаптацию полученного решения к внешним условиям; обновление прецедента путем сохранения принятого решения с учетом адаптации [17].

На этапе извлечения прецедентов критерием их пригодности является степень сходства значений параметров текущей ситуации и прецедентов, извлеченных из базы.

Выбор метода извлечения прецедентов осуществляется в зависимости от их представле-

ния в базе. Каждый из данных способов характеризуется оперативностью извлечения прецедентов из базы, а также ресурсами, затраченными на реализацию, поддержание и сопровождение базы.

В общем случае прецедент включает описание ситуации, ее диагностирование и результат использованного решения.

В интеллектуальных системах поддержки принятия решения используются следующие методы извлечения прецедентов.

Методы извлечения прецедентов на основе использования деревьев решений [18, 19]. В основе базы прецедентов лежит иерархическая структура, каждая вершина которой соответствует некоторому решению в составе хранящегося прецедента. Вершины объединяются в ветви в соответствии с определенными правилами, например, по критерию близости параметров описываемой ситуации. Данные методы эффективны при большом объеме базы и жестких требованиях к оперативности извлечения прецедентов.

Методы извлечения прецедентов на основе знаний [19–21] основаны на семантической индексации прецедентов в соответствии с важностью параметров прецедентов, задаваемых экспертами. Методы успешно применяются при больших объемах базы прецедентов, их динамичности и открытости, но требуют вложения значительных ресурсов на этапе создания и поддержания в актуальном состоянии базы знаний о требуемых предметных областях.

Методы извлечения прецедентов на основе их применимости [22]. Данные методы эффективны в том случае, когда схожесть параметров текущей ситуации с прецедентом играет второстепенную роль. Результативность применения прецедента в данной конкретной ситуации имеет определяющее значение на этапе его выбора. Поэтому значения показателей результативности применения прецедентов должны присутствовать в их описаниях.

Методы извлечения прецедентов на основе использования искусственных нейронных сетей. Основные проблемы использования данной группы методов связаны с требованиями к представительности обучающей выборки, ресурсными затратами на обучение искусственных нейронных сетей и разра-

ботку специальной топологии для каждой проблемной области [23].

Методы ближайшего соседа [18, 21, 24, 25]. Данная группа методов получила наиболее широкое распространение в системах поддержки принятия решений вследствие простоты реализации и независимости от специфики конкретной проблемной области. Особенность каждого из методов данной группы определяется видом метрики, которая используется при нахождении степени сходства текущей ситуации и прецедентов по близости их параметров.

Выбор соответствующей метрики определяется различными факторами (как внешними, так и внутренними условиями процесса поиска решения) – характеристиками признаков наблюдаемых объектов; целью и задачами лица, принимающего решения; вводимыми ограничениями и т. д.

Несмотря на то что в настоящее время разработано большое количество систем поддержки принятых решений на основе прецедентов, во многие области человеческой деятельности они пока еще не внедрены. Примером такой области является экологический мониторинг районов хранения и транспортировки ННП. Кроме того, разработанные методы извлечения прецедентов из базы не ориентированы на использование разнородных признаков объектов космического мониторинга.

Определение оценок условных априорных вероятностей принятия признаков значений, соответствующих определенному классу

В качестве примера рассмотрим наиболее распространенный объект системы хранения и транспортировки ННП – нефтебазу.

Экспериментальными данными выступали фрагменты маршрутов съемки земной поверхности размерами от 22×30 км до 35×58 км, выполненной космическим аппаратом (КА) ДЗЗ высокого и сверхвысокого разрешения в период 2019–2023 гг. Данные космической съемки подвергались стандартной первичной обработке (структурному восстановлению, радиометрической и геометрической коррекциям, геокодированию). Пространственное разрешение космических снимков составляло от 0,5 до 1,5 м.

Нефтебаза – комплекс сооружений, предназначенных для хранения и перевалки с одного вида транспорта на другой ННП (ГОСТ 1510-2022. Межгосударственный стандарт. Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. – М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 70 с.).

Наиболее приоритетными для экологического мониторинга являются следующие структурные элементы нефтебаз:

- резервуары для хранения ННП;
- насосные станции для перекачки ННП;
- запорная и запорно-распределительная арматура;
- узлы приема и отпуски ННП по трубопроводу;
- железнодорожные тупики, оборудованные сливо-наливными эстакадами для приема и отпуски ННП;
- причалы для швартовки нефтеналивных судов;
- автоэстакады и автоколонки для отпуски (приема) нефти и нефтепродуктов в автоцистерны;
- очистные сооружения;
- понижающая электрическая подстанция;
- линии электропередач;
- трубопроводы для перекачки нефти и нефтепродуктов.

Оценивание экологической обстановки в районе нефтебазы представляет собой решение задачи нахождения прецедентов, соответствующих текущей проблемной ситуации, параметры которой определяются по данным дистанционного зондирования Земли [26].

Таким образом, в n -мерном пространстве признаков (параметров) заданы прецедент C и текущая проблемная ситуация P .

Каждый из описанных выше приоритетных элементов нефтебазы F_i представлен своим набором прецедентов C_i со следующим параметрическим описанием:

$$C = (x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n, R),$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – параметры ситуации;

n – количество параметров ситуации;

R – принятое решение;

X_1, X_2, \dots, X_n – области допустимых значений параметров ситуации.

Так, например, в качестве параметров состояний резервуаров для хранения ННП как структурного элемента нефтебазы выступают следующие количественные признаки:

x_1 – относительный объем резервуаров с отмеченными нарушениями конструктивной целостности (рис. 1, а, б);

x_2 – количество ремонтно-строительной и транспортной техники (рис. 1, а);

x_3 – относительный объем резервуаров с плавающими крышами с нулевым уровнем продукта (рис. 1, в);

x_4 – площадь разлива ННП (рис. 1, г).

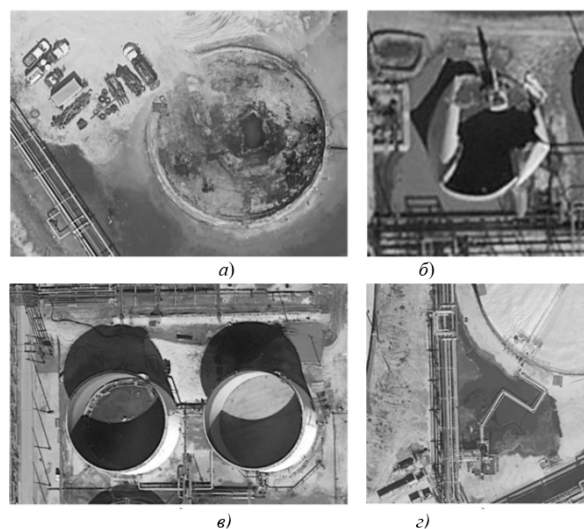


Рис. 1. Количественные параметры состояний резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, определяемые по космическим снимкам

Для описания прецедентов, хранящихся в базе, используются следующие принятые решения о состоянии экологической обстановки в районе нефтебазы:

R_1 – экологическая обстановка в норме;

R_2 – низкая степень опасности нарушения экологической системы;

R_3 – средняя степень опасности нарушения экологической системы;

R_4 – высокая степень опасности нарушения экологической системы;

R_5 – очень высокая степень опасности нарушения экологической системы.

Сходство (близость) прецедента C и проблемной ситуации P будем определять, используя евклидову метрику [27] и учитывая важность параметров объекта:

$$d_{CP} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (z_i (x_i^C - x_i^P))^2},$$

где d_{CP} – расстояние между проблемной ситуацией и прецедентом;

x_i^C – значение i -го параметра (признака) прецедента;

x_i^P – значение i -го параметра (признака) текущей ситуации;

z_i – важность i -го параметра (признака) объекта;

n_k – число количественных признаков.

Важность параметра объекта определяется с использованием методов экспертного

оценивания. Значение важности нормировано и изменяется в интервале $[0,1]$.

Для вычисления значения степени близости прецедента C и проблемной ситуации P при использовании количественных признаков предлагается использовать следующее выражение:

$$S_{CP}^k = 1 - \frac{d_{CP}}{d_{\max}}, \quad (1)$$

где $d_{\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (z_i (x_i^{\max} - x_i^{\min}))^2}$ – максимальное расстояние в выбранной метрике.

Если при измерении значений параметров (признаков) текущей ситуации какой-либо из них не проявляется либо его невозможно оценить, то значение такого признака определяется в соответствии со следующим правилом [28]:

$$x_i^P = \begin{cases} x_i^{\min}, & \text{если } (x_i^C - x_i^{\min}) > (x_i^{\max} - x_i^C); \\ x_i^{\max}, & \text{если } (x_i^C - x_i^{\min}) \leq (x_i^{\max} - x_i^C). \end{cases} \quad (2)$$

Возможен и другой вариант неполной информации об объекте наблюдения, когда получены значения параметра текущей ситуации, которые отсутствуют в описании прецедента. При этом необходимо актуализировать описание прецедента путем включения в него новых значений параметра ситуации: $x_i^C = x_i^P$.

В случае получения от экспертов коэффициентов важности используемых параметров необходимо умножить все значения данных параметров в выражении (2) на z_i .

Ряд признаков, проявляющихся на объекте наблюдения, не имеют количественного выражения, а представляют собой качественные суждения о наличии либо отсутствии у объекта тех или иных свойств, т. е. относятся к логическому типу. Например, логическими признаками состояний резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов являются:

x_5 – нарушения конструктивной целостности трубопроводов (рис. 2, а);

x_6 – нарушения конструктивной целостности обвалований и огнестойких ограждений вокруг резервуаров (рис. 2, в);

x_7 – повреждения запорной и запорно-распределительной арматуры (рис. 2, з);

x_8 – нарушения конструктивной целостности резервуаров (рис. 2, б).

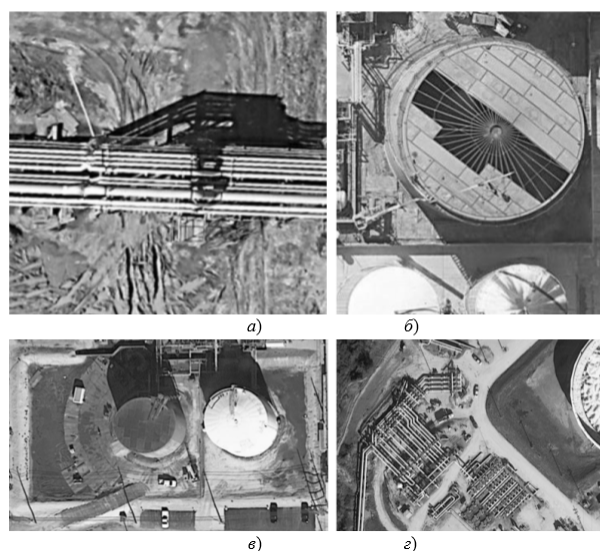


Рис. 2. Качественные параметры состояний резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, определяемые по космическим снимкам

В данном случае сходство прецедента C и проблемной ситуации P определяется с использованием меры близости Хэмминга [29]:

$$S_{CP}^L = \frac{n_{CP}^L}{n^L}, \quad (3)$$

где n_{CP}^L – число логических признаков, совпадающих у текущей ситуации и прецедента;

n^L – общее число логических признаков.

При использовании коэффициента важности логических признаков z_i выражение (3) приобретает следующий вид:

$$S_{CP}^L = \frac{\sum_{i=1}^{n^L} z_i}{n^L}. \quad (4)$$

Таким образом, если при описании прецедентов используются различные типы признаков, то на первом этапе принятия решений с использованием выражений (3) и (4) определяются меры близости текущей ситуации и прецедента S_{CP}^k и S_{CP}^L по значениям количественных и логических признаков соответственно.

На втором этапе принятия решений определяется интегральная мера близости текущей ситуации и прецедента как максимум из полученных значений S_{CP}^k и S_{CP}^L :

$$S_{CP} = \max(S_{CP}^k, S_{CP}^L).$$

Использование критерия выбора максимального значения меры близости обосновывается необходимостью минимизации риска пропуска нарушения экологической системы.

В качестве структуры базы прецедентов предлагается иерархическое дерево, включающее две ветви: прецеденты, описываемые с использованием количественных и качественных (логических) признаков.

В качестве экспериментальных данных выступали фрагменты маршрутов съемки земной поверхности размерами от 22×30 км до 35×58 км, выполненной КА ДЗЗ в период 2019–2023 гг. Данные космической съемки подвергались стандартной первичной обработке (структурному восстановлению, радиометрической и геометрической коррекциям, геокодированию). Пространственное разрешение космических снимков составляло от 0,5 до 1,5 м.

Заключение

Предложенный метод определения оценок условных априорных вероятностей принятия признаком значений, соответствующих определенному классу, позволяет рассчитывать априорные характеристики разнородных (качественных и количественных) признаков на основе анализа статистических совокупностей результатов наблюдений.

Получены математические выражения для расчета оценок условных априорных вероятностей принятия признаком объекта наблюдения при двух- и многоальтернативном распознавании.

Разработанная математическая модель информативности набора признаков объектов дистанционного зондирования Земли может применяться для определения допустимых значений информативности признаков при задании требований к результативности процесса распознавания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чистяков Д. А., Нечаева О. А. Экологический мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов с использованием летательных аппаратов // Новая наука: проблемы и перспективы. – 2016. – № 3. – С. 18–23. – EDN VKMNRL.
2. Филина Н. А., Мазуркин П. М. Мониторинг аварийных разливов нефти // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 3. – С. 62–67. – EDN NUHMXJ.
3. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-2-155-163. – EDN FXIMIO.

4. Павлов С. В., Сайфутдинова Г. М., Бахтизин Р. Н. Геоинформационные методы описания магистральных трубопроводов и аварийных разливов нефти // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем. – Уфа : Уфимский государственный авиационный технический университет, 2007. – С. 97–104. – EDN VOGWFV.
5. Долгополов Д. В., Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Геоинформационное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 12. – С. 52–63. – DOI 10.18799/24131830/2021/12/3028. – EDN ZAFHWP.
6. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3–17. – EDN NBSTHV.
7. Алексеева М. Н., Яценко И. Г. Экологический мониторинг нефтедобывающих территорий на основе космических снимков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 101–106. – EDN QITZXN.
8. 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, ч. 1. – С. 130–133. – EDN PFOMNF.
9. 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.
10. Алексеева М. Н., Перемитина Т. О. Оценка негативного воздействия аварийных разливов нефти на окружающую природную среду на основе космических снимков // Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 12–17. – EDN RVRUXL.
11. Беликов В. А., Галянин В. В. Анализ данных дистанционного зондирования Земли для обнаружения нефтяных разливов // Вестник Самарского гос. технического ун-та. – 2017. – № 2. – С. 7–12. – EDN ZGBWEL.
12. Верхотуров А. А., Мелкий В. А., Долгополов Д. В., Лисицкий Д. В. Мониторинг изменения состояния растительного покрова на участке трассы трубопровода проекта «Сахалин-2» по данным космических съемок // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 4. – С. 45–53. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53. – EDN AROBFE.
13. Шляхова М. М., Лакеев И. Ю. Мониторинг объектов нефтегазовой отрасли с помощью воздушного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 64–72. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-64-72. – EDN FMTZWL.
14. Гордиенко А. С., Ткач А. В. Исследование состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 6. – С. 55–63. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63. – EDN UURWSZ.
15. Зулин К. А., Кулик Е. Н. Использование данных дистанционного зондирования SENTINEL-2B для мониторинга последствий разливов нефти // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 60–66. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-60-66. – EDN ZCAIHN.
16. Долгополов Д. В., Никонов Д. В., Полуянова А. В., Мелкий В. А. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 65–81. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81. – EDN BQCQZY.
17. A. Aamodt and E. Plaza. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 1994. – Vol. 7. – № 1. – P. 39–59. – DOI 10.3233/AIC-1994-7104.

18. Вагин В. Н., Головина Е. Ю., Загорянская А. А., Фомина М. В., Поспелов Д. А. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. – 2-е изд. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 712 с.
19. Watson I. D., Marir F. Case-based reasoning: A review. *The Knowledge Engineering Review*, 1994. – Vol. 9. – No. 4. – P. 355–381. – DOI 10.1017/S0269888900007104.
20. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // *Новости искусственного интеллекта*. – 2006. – № 3. – С. 39–62. – EDN AJCDQP.
21. Люгер Д. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / пер. с англ. – 4-е изд. – М. : Вильямс, 2003. – 864 с.
22. Barry Smyth and Mark T. Keane Retrieving adaptable cases. The role of adaptation knowledge in case retrieval // *Springer Berlin / Heidelberg*, Vol. 837, 1994. – P. 209–220.
23. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Интеллектуальные информационные технологии : учеб. пособие. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 304 с. – ISBN 5-7038-2544-X. – EDN QMOGNX.
24. Варшавский П. Р. Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики // *Труды 11-й национальной конференции по ИИ с международным участием (КИИ-2008, г. Дубна, Россия)*. В 3-х т. Т. 2. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – С. 106–113.
25. Куликов А. В., Фомина М. В. Алгоритмы обобщения при наличии шума в исходных данных // *Труды 11-й национальной конференции по ИИ с международным участием (КИИ-2008, г. Дубна, Россия)*. В 3-х т. Т. 2. – М. : ЛЕНАНД, 2008. – С. 148–156.
26. Геловани В. А., Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Е. Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. – М. : Эдитореал УРСС, 2001. – 304 с.
27. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. – М. : Радио и связь, 1989. – 184 с.
28. Варшавский П. Р., Еремеев А. П. Реализация методов поиска решения на основе аналогий и прецедентов в системах поддержки принятия решений // *Вестник МЭИ*. – 2006. – № 2. – С. 77–87. – EDN НТҮСНЈ.
29. Юре Лесковец, Ананд Раджараман, Джефффри Д. Ульман. Анализ больших наборов данных / пер. с англ. Слинкин А. А. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 498 с.

Об авторах

Михаил Алексеевич Сквazников – кандидат технических наук, доцент кафедры оптико-электронных средств.

Дмитрий Леонидович Колыгин – преподаватель кафедры оптико-электронных средств.

Получено 04.04.2024

© М. А. Сквazников, Д. Л. Колыгин, 2025

Assessing the environmental situation in areas of storage and transportation of oil and petroleum products based on the use of space monitoring data

M. A. Skvaznikov¹, D. L. Kolygin¹

¹ Mozhaisky Military Space Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

e-mail: vka@mil.ru

Abstract. The processes that ensure the transportation and storage of oil and petroleum products are associated with the risks of emergencies and threats to the natural environment. Information security of the

environment is provided by timely collection and processing of heterogeneous data, including from space monitoring facilities. The use of Earth remote sensing equipment makes it possible to assess the technical condition of buildings, reservoirs and pipelines, detect and identify spills of crude oil and petroleum products, hazardous production waste, as well as sources of leakage. The use of high- and ultra-high-resolution satellite images leads to an object-oriented interpretation of objects of artificial origin using semantic features described in natural language. The proposed method for assessing the environmental situation in areas of storage and transportation of oil and petroleum products is based on a model of a decision support system based on the use of precedents. To extract use cases, a modified nearest neighbor method is used with the integrated use of Euclidean and Hamming metrics. At the same time, the importance of the parameters of the controlled object is calculated on the basis of expert data. When describing the current situation or precedent, an algorithm has been developed for applying incomplete information in the source data.

Keywords: oil and petroleum products, environmental conditions, space monitoring, modified nearest neighbor method, Euclid metric, Hamming metric

REFERENCE

1. Chistiakov, D. A., & Nechaeva, O. A. (2016). Environmental monitoring of oil and petroleum product spills using aircraft. *Novaya nauka: problemy i perspektivy [New science: problems and prospects]*, No. 3, pp. 18–23 EDN VKMNRL [in Russian].
2. Filina, N. A., & Mazurkin, P. M. (2011). Oil spill monitoring. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii [Modern high technology]*, No. 3, pp. 62–67, EDN NUHMXJ [in Russian].
3. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., & Vetoshkin D. N. (2021). Smart information models as an effective tool of regional spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No. 2, pp. 155–163, EDN FXIMIO [in Russian].
4. Pavlov, S. V., Saifutdinova, G. M., & Bakhtizin, R. N. (2007). Geoinformation methods for describing main pipelines and emergency oil spills. In *Sbornik Geoinformatsionnye tekhnologii v proektirovanii i sozdanii korporativnykh informatsionnykh sistem [Geoinformation technologies in the design and creation of corporate information systems]* pp. 97–104. Ufa: Ufa State Aviation Technical University Publ. EDN VOGWFV [in Russian].
5. Dolgopopov, D. V., Melkiy, V. A., & Verkhoturov, A. A. (2021). Geoinformation support for safe operation of pipeline transport. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Izvestiya of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]*, Vol. 332, No. 12, pp. 52–63. DOI 10.18799/24131830/2021/12/3028. EDN ZAFHWP. [in Russian].
6. Bondur, V. G. (2010). Aerospace methods and technologies for monitoring oil and gas-bearing territories and oil and gas complex facilities. *Issledovanie Zemli iz kosmosa [Earth exploration from space]*, No. 6, pp. 3–17. EDN NBSTHV [in Russian].
7. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Environmental monitoring of oil-producing territories on the basis of space images. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* pp. 101–106. Novosibirsk: SSGA Publ. EDN QITZXN [in Russian].
8. Tokareva, O. S., & Klimentev, D. S. (2010). Assessing the consequences of oil spills based on Earth remote sensing data. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* pp. 130–133. Novosibirsk: SSGA Publ. EDN PFOMNF [in Russian].
9. Yashchenko, I. G., & Peremitina, T. O. (2015). Monitoring the ecological state of oil-producing territories of Western Siberia using remote sensing data. *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]* pp. 89–93. Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
10. Alekseeva, M. N., & Peremitina, T. O. (2014). Assessment of the negative impact of emergency oil spills on the natural environment based on satellite images. *Bezopasnost zhiznedeiatelnosti [Life safety]*, No 2, pp. 12–17. EDN RVRUXL [in Russian].

11. Belikov, V. A., & Galianin, V. V. (2017). Analysis of Earth remote sensing data for oil spill detection. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Vestnik Samara State technical university]*, No. 2, pp. 7–12 [in Russian].
12. Verkhoturov A. A., Melkiy, V. A., Dolgoplov, D. V., & Lisitskiy, D. V. (2022). Monitoring changes in the state of vegetation cover on the section of the Sakhalin-2 project pipeline route according to space imagery data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 27 (4), pp. 45–53. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-45-53. EDN AROBFE [in Russian].
13. Shlyakhova, M. M., & Lakeev, I. Iu. (2022). Monitoring of oil and gas industry facilities using airborne laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 27 (6), pp. 64–72. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-64-72. EDN FMTZWL [in Russian].
14. Gordienko, A. S., & Tkach, A. V. (2022). Study of the state of the environment in the area of oil production using space images. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 27 (6), pp. 55–63. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63. EDN UURWSZ [in Russian].
15. Zulin, K. A., & Kulik, E. N. (2023). Oil spill monitoring using Sentinel-2B remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 28 (2), pp. 60–66. DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-2-60-66. EDN ZCAIJH [in Russian].
16. Dolgoplov, D. V., Nikonov, D. V., Poluyanova, A. V., & Melkiy, V. A. (2019). Possibilities of visual decoding of main pipelines and infrastructure facilities using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 24(3), pp. 65–81. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81. EDN BQCQZY [in Russian].
17. Aamodt, A., & Plaza, E. (1994). Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches. *AI Communications*, 7(1):39–59. DOI 10.3233/AIC-1994-7104.
18. Vagin, V. N., Golovina, E. Yu., Zagoryanskaya, A. A., Fomina, M. V., & Pospelov, D.A (2008). Reliable and plausible inference in intelligent systems. 2nd edition. Moscow: Fizmatlit, 712 p. [in Russian].
19. Watson, I. D., & Marir, F. (1994). Case-based reasoning: A review. *The Knowledge Engineering Review*, Vol. 9, No. 4, pp. 355–381. DOI 10.1017/S0269888900007104.
20. Varshavskiy, P.R., & Eremeev, A.P. (2006). Methods of plausible reasoning based on analogies and precedents for intelligent decision support systems. *Novosti iskusstvennogo intellekta [Artificial intelligence news]*, No. 3, pp. 39–62. EDN AJCDQP [in Russian].
21. Luger, G. F. (2003). Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving. 4th edition Moscow: Williams Publ., 864 p. [in Russian].
22. Smyth, B., & Keane, M. T. (1994). Retrieving adaptable cases. The role of adaptation knowledge in case retrieval. In *Proceedings of the Case-Based Reasoning Workshop*. Springer Berlin / Heidelberg, Vol. 837, p. 209–220.
23. Bashmakov, A. I., & Bashmakov, I. A. (2005). Intelligent information technologies: tutorial Moscow: MSTU im. N.E. Bauman Publ, 304 p. ISBN 5-7038-2544-X. EDN QMOGNX [in Russian].
24. Varshavskiy, P. R. (2008). Mechanisms of plausible reasoning based on precedents (accumulated experience) for expert diagnostic systems. In *Trudy XI natsionalnoi konferentsii po II s mezhdunarodnym uchastiem (KII-2008) [Proceedings of the XI National Conference on AI with International Participation (AIC-2008). Vol. 2]* pp. 106–113. Moscow: Lenand Publ. [in Russian].
25. Kulikov, A. V., & Fomina, M. V. (2008). Generalization algorithms in the presence of noise in the source data. In *Trudy XI natsionalnoi konferentsii po II s mezhdunarodnym uchastiem (KII-2008) [Proceedings of the XI National Conference on AI with International Participation (AIC-2008). Vol. 2]* pp. 148–156. Moscow: Lenand Publ. [in Russian].
26. Gelovani, V. A., Bashlykov, A. A., Britkov, V. B., & Viazilov, E. D. (2001). *Intellektual'nyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v neshchatnykh situatsiyakh s ispol'-zovaniyem informatsii o sostoyanii prirodnoy sredy [Intelligent decision support systems in emergency situations using information about the state of the natural environment]*. Moscow: Editorial URSS Publ., 304 p. [in Russian].

27. Pospelov D. A. (1989). *Modelirovaniye rassuzhdeniy. Opyt analiza myslitel'nykh aktov* [Modeling reasoning. Experience in analyzing mental acts]. Moscow: Radio and communications Publ, 184 p. [in Russian].

28. Varshavskiy P. R., & Ereemeev A. P. (2006). Implementation of methods for finding solutions based on analogies and precedents in decision support systems. *Vestnik MEI* [Vestnik of MPEI], No. 2, pp. 77–87 EDN HTYCNJ [in Russian].

29. Jure Leskovec, Anand Rajaraman, & Jeff Ullman (2014). *Mining of Massive Datasets*. Cambridge University Press, 2nd edition. 476 p.

Author details

Mikhail A. Skvaznikov – Ph. D., Associate Professor, Department of Optoelectronic Devices and Systems.

Dmitrii L. Kolygin – Lecturer, Department of Optoelectronic Devices and Systems.

Received 04.04.2024

© *M. A. Skvaznikov, D. L. Kolygin, 2025*