

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER
УДК 004.93'1:004.932
DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1937-1956

Дешифрирование депрессивных строительных объектов по данным спутниковой съемки и подспутникового мониторинга

Маретта Леоновна Казарян¹, Андрей Александрович Рихтер²,
Михаил Андраникович Шахраманьян^{3,4}, Сергей Михайлович Григорьев³

¹ Северо-Осетинская государственная медицинская академия (СОГМА); г. Владикавказ, Россия;

² Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»;
г. Москва, Россия;

³ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет);
г. Москва, Россия;

⁴ Государственный университет просвещения (ГУП); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследуются депрессивные строительные объекты (ДСО) и наличие их на территории Арктики. Применение технологий дистанционного зондирования Земли из космоса является незаменимым для обеспечения подспутникового мониторинга по определению аварийных, поврежденных и заброшенных строительных объектов в труднодоступных регионах. Цель исследования — возможность дешифрирования ДСО по данным аэрокосмического мониторинга. Для арктических территорий дистанционные методы актуальны из-за неблагоприятных метеорологических условий, а также из-за депрессивного характера большинства населенных пунктов. Депрессивные строительные объекты служат одним из основных признаков обследуемых территорий. В мировой практике существуют определенные методы по дешифрированию депрессивных сооружений. Это иерархический метод глубокого обучения на базе снимков Google Street View, информационное моделирование исторических зданий, фотограмметрия с помощью БПЛА, 3D-съемки.

Материалы и методы. Используются спутниковые изображения высокого пространственного разрешения, отображающие территории с различными условиями освещения, ландшафта и компонентного состава поверхности Арктики. Предмет исследования — комплексный метод визуального дешифрирования ДСО.

Результаты. Представлены области и признаки дешифрирования, актуальность дешифрирования депрессивных объектов в Арктическом регионе. Приведены примеры аварийных и заброшенных объектов и их дешифровочные признаки на спутниковых, наземных и аэрофотоснимках. Показан экологический аспект ДСО, связанных с продуцированием свалок и определенными механизмами поведения по отношению к землепользованию.

Выводы. Рассмотренные методы дешифрирования ДСО по данным аэрокосмического мониторинга позволят проводить их кадастровый учет, картографирование и систематизацию, оценивать количественные и качественные характеристики этих объектов и депрессивность исследуемых регионов. Это наиболее актуально для Арктического региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительный объект, здание, заброшенное здание, недостроенное здание, разрушенное здание, поврежденное здание, аварийное здание, дешифрирование, дешифровочные признаки, изображение, спутниковое изображение, космический мониторинг, семантическая сегментация, Арктика, Арктический регион

Благодарности. Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Казарян М.Л., Рихтер А.А., Шахраманьян М.А., Григорьев С.М. Дешифрирование депрессивных строительных объектов по данным спутниковой съемки и подспутникового мониторинга // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 12. С. 1937–1956. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1937-1956

Автор, ответственный за переписку: Маретта Леоновна Казарян, maretta@bk.ru.

Deciphering of emergency construction objects using satellite imagery and sub-satellite monitoring data in the Arctic

Maretta L. Kazaryan¹, Andrey A. Richter², Mikhail A. Shakhramanyan^{3,4}, Sergey M. Grigoriev³

¹ North-Ossetian State Medical Academy (SOGMA); Vladikavkaz, Russian Federation;

² Aerospace Monitoring Research Institute "AEROSPACE"; Moscow, Russian Federation;

³ Financial University under the Government of the Russian Federation; Moscow, Russian Federation;

⁴ State University of Enlightenment (SUE); Mytishchi, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. This paper studies depressed construction sites and their presence on the territory of Arctic. Application of earth remote sensing technologies from space is indispensable for providing sub-satellite monitoring to identify emergency, damaged and abandoned construction objects in hard-to-reach regions. The purpose of the study is the possibility of deciphering depressed construction objects according to aerospace monitoring data. For the Arctic territories remote methods are relevant because of unfavorable meteorological conditions of contact methods, as well as because of the depressed nature of most settlements. Depressed construction sites are one of the main features of the surveyed territories. In the world practice, there are certain methods for deciphering depressed structures. These are hierarchical deep learning method based on Google Street View images, information modelling of historical buildings, photogrammetry using UAVs, 3D shooting.

Materials and methods. The research is carried out on the basis of satellite images of high spatial resolution, depicting territories with different lighting conditions, landscape and component composition of the Arctic surface. The subject of the research is a complex method of visual decoding of depressed construction objects.

Results. The areas and signs of deciphering, the relevance of deciphering of these objects in the Arctic region are presented. Examples of emergency and abandoned objects and their deciphering signs on satellite, ground and aerial photographs are given. The ecological aspect of depressed construction objects associated with the production of landfills and certain mechanisms of behavior in relation to land use is shown.

Conclusions. The methods of interpretation of depressed construction objects based on aerospace monitoring data considered in the paper allow to carry out their cadastral registration, mapping and systematization, to estimate quantitative and qualitative characteristics of these objects and depressiveness of the regions under study. This is most relevant for the Arctic region.

KEYWORDS: building object, emergency construction, destroyed object, abandoned building, 3-D model, recognition, decoding, satellite image, space monitoring, semantic segmentation, Arctic

Acknowledgements. The article was prepared based on the results of research carried out at the expense of budgetary funds under the state assignment of the Financial University.

FOR CITATION: Kazaryan M.L., Richter A.A., Shakhramanyan M.A., Grigoriev S.M. Deciphering of emergency construction objects using satellite imagery and sub-satellite monitoring data in the Arctic. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(12):1937-1956. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.12.1937-1956 (rus.).

Corresponding author: Mareta L. Kazaryan, marettak@bk.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Дистанционные методы мониторинга земной поверхности обладают рядом преимуществ перед контактными методами [1–3]:

1. Масштабность. Идентификация и анализ состояния земной поверхности и ее подсистем одновременно и на огромных территориях.

2. Автоматизация. С помощью методов цифровой обработки изображений и компьютерного зрения процесс дешифрирования различных объектов и процессов, их признаков на земной поверхности автоматизируется.

3. Бесконтактность. Наличие регионов, труднодоступных (по разным причинам) для контактных исследований, приводит к необходимости применения для этих регионов бесконтактных исследований.

4. Детальность. Полезная информация, выявляемая при обработке аэрокосмических изображений, является объективной и может быть вычислена в каждой точке земной поверхности.

Для арктических территорий дистанционные методы особенно актуальны, прежде всего, из-за неблагоприятных метеорологических условий для контактных методов, а также из-за депрессивного характера большинства населенных пунктов. Депрессивность может выражаться: в технологической изолированности от «большой» инфраструктуры; неразвитости транспортных путей и транспорта; социально-экономическом упадке. Одним из основных признаков депрессивности обследуемой территории, дешифри-

руемой по данным спутникового и подспутникового мониторинга, служит наличие депрессивных строительных объектов (ДСО). При этом вводится определенный набор критериев, описывающих депрессивность территории по данным мониторинга, в том числе количественных характеристик ДСО.

В мировой практике в области дешифрирования ДСО можно выделить публикации [4–8]. В работе [4] описаны особенности пространственного «поведения» заброшенных объектов и территорий. Так, было показано, что заброшенные дома группируются и территориально распространяются, а пустующая и заброшенная недвижимость ограничивается конкретными районами, а не разбросана по всему городу. Автор отмечает, что было проведено мало исследований по пространственным аспектам оставления зданий; теории о том, почему оставление может быть кластерным, отсутствуют в литературе. Предполагается, что заброшенные дома группируются в кластеры, так как кластеризуются предикторы или причины заброшенности зданий.

В труде [8] к историческому объекту Palazzo del Littorio in Caronno Pertusella (VA) применена технология информационного моделирования исторических зданий НВИМ. Данный объект — хрестоматийный случай для комплексного обследования и документирования различных видов структурных повреждений. Он находится в состоянии деградации, но не настолько серьезной, чтобы помешать проекту по сохранению вместе с проектом полной реконвер-

сии его функции. Информация, связанная с автоматическим распознаванием различных текстур стен и возможных механизмов разрушения, порожденных взломом каркаса, обнаруживается благодаря качеству изображений, полученных в результате фотограмметрической съемки высокой четкости.

Разработан иерархический метод глубокого обучения по обнаружению заброшенных строительных объектов на базе снимков Google Street View (GSV), для которых характерны открытый доступ, глобальный охват и наземный режим фотографирования [5, 6]. Этапы метода:

1) классификация на основе сцены, которая может извлекать глобальные визуальные особенности ДСО, была реализована путем тонкой настройки предварительно обученной модели глубокой сверточной нейронной сети (CNN);

2) классификация на базе патчей, которая может выделить специфические локальные особенности ДСО. Патчи были сгенерированы из изображений GSV на основе автоматически обнаруженных локальных объектов, за которыми следовали пометки по трем категориям: участки зданий, участки растительности и др. Две глубокие модели CNN использованы для выявления поврежденных участков фасада здания и заросших участков растительности соответственно;

3) ДСО на индивидуальном уровне обнаруживаются путем интеграции результатов классификации сцен и результатов классификации участков в модель дерева решений.

Быстрая методология количественной оценки ущерба крыше в исторических зданиях, предложенная вскоре после того, как произойдет легкое сейсмическое событие, представлена в труде [7] с целью оценки необходимости временных вмешательств для предотвращения дальнейшего ущерба. Съемка основана на фотограмметрии с БПЛА, хорошо известной методике, которая позволяет проводить осмотр и документировать в цифровом виде даже в труднодоступных или опасных местах. Исследование направлено на анализ возможности автоматизированного картирования повреждений крыши с использованием процедуры классификации изображений на основе контролируемого машинного обучения. Процедура суммируется в эффективном рабочем процессе, где фотограмметрия БПЛА сочетается с другими методами 3D-съемки, такими как наземная фотограмметрия и лазерное сканирование, для предоставления исчерпывающей документации и количественных данных об историческом здании.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Предлагаемое исследование важно ввиду наличия и расширения депрессивных территорий по всей планете, причинами чего является ряд со-

циально-экономических, политических и метеорологических факторов. Исследование отличается от существующих в мировой практике комплексным визуальным подходом к дешифрированию ДСО. Такой подход характеризуется: универсальностью используемой входной информации; учетом видов ДСО, не ревизируемых существующими методами; комплементарностью и полнотой; наличием непрерывной обратной связи и контроля в процессе выявления и параметризации новых объектов; отсутствием потребности в специальном программном обеспечении и проприетарных ресурсах.

Предметом исследования в настоящей работе является комплексный метод визуального дешифрирования ДСО (рис. 1).

Входная информация — типы изображений, классы ДСО. Каждому типу входных изображений и классу ДСО соответствует свой набор дешифровочных признаков. Для тестового региона (вся наблюдаемая область) устанавливаются области, относящиеся к объекту дешифрирования. В данных областях, прежде всего характеризуемых высокой степенью вероятности обнаружения ДСО, выявляются объекты по данным наборам признаков. При этом в разном сочетании типов изображений и классов ДСО имеет место комплементарность «ветвей» обнаружения объектов.

Каждый выявленный объект параметризуется (по геометрическим, структурным, экологическим и экономическим параметрам) и картографируется. В частности, к геометрическим относятся площадь и объем здания, параметры завала; к структурным — материалы и разметки повреждений конструкций объекта; к экологическим — площадь и концентрация мусорного покрова, образованного при деструкции строительного объекта (СО); к экономическим — концентрация заброшенных объектов на заданной площади.

Процедура обнаружения, параметризации и картографирования производится в различные моменты наблюдаемого периода времени. Наблюдение осуществляется, с одной стороны, нового обнаруженного ДСО в его временной окрестности, с другой — пространственной окрестности обнаруженных объектов для выявления новых ДСО.

Депрессивные строительные объекты

В «здоровом» состоянии СО полноценно функционирует, т.е. он выполняет социально значимые функции и в нем протекают социально значимые процессы (жилые, общественные, промышленные, инженерно-технические и др.). В «болезненном» (депрессивном) состоянии полноценного или вообще функционирования СО нет. В этом случае на него воздействуют только естественные факторы окружающей среды, что приводит в конечном счете к самообрушению здания, сооружения в зависимости от его механизмов саморегуляции, гомеостаза

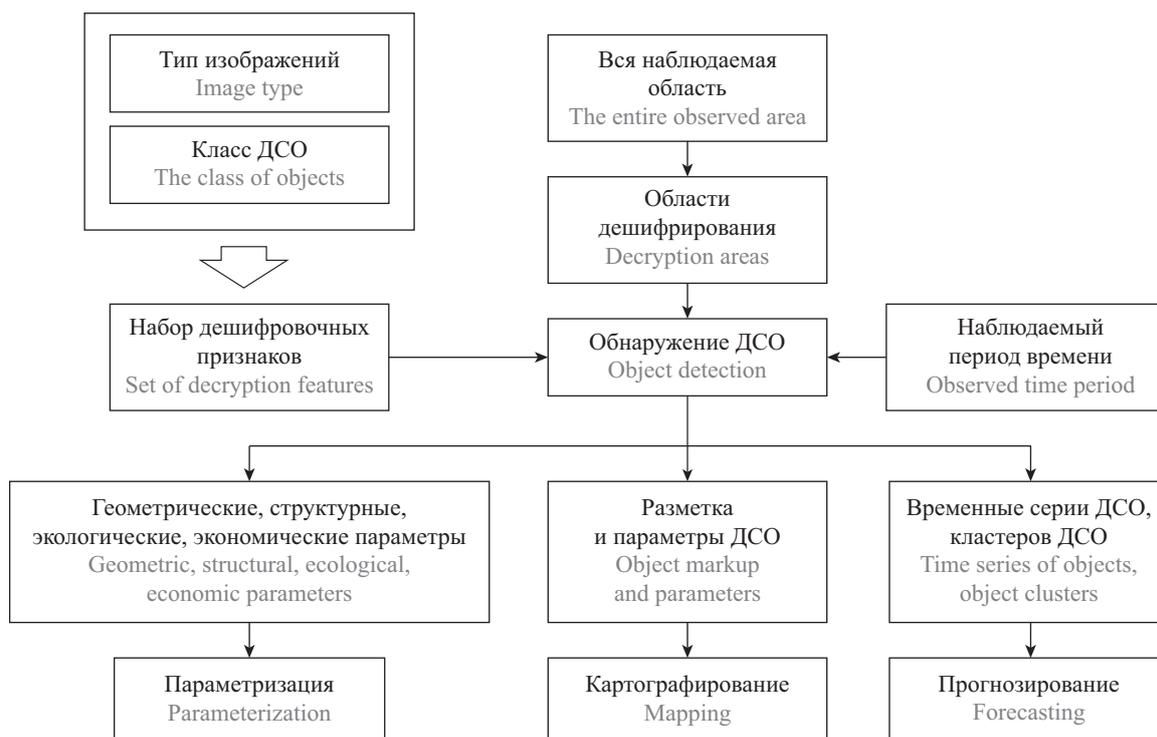


Рис. 1. Общая схема комплексного метода визуального дешифрирования ДСО

Fig. 1. General scheme of the complex method of visual interpretation of DCO

(чем выше параметры прочности, тем дольше объект простоят) [9]. Если не заниматься депрессивными строительными отходами, они превращаются в объекты захоронения отходов, для выявления которых и анализа их компонентного состава в настоящее время разработаны методы и технологии космического мониторинга [10–17].

Введем (депрессивные) состояния СО:

1. Недостроенное — состояние объекта незавершенного строительства, при котором его конструирование к некоторому моменту времени приведено к определенной промежуточной стадии (строительство заморожено), т.е. объект не доведен до конечного состояния, утвержденного в его проектно-технической документации.

2. Аварийное — состояние объекта завершенного строительства, при котором он функционирует (качество функционирования объективно ниже, чем требуется), но при этом имеет место высокий риск возникновения местных и общего разрушений.

3. Поврежденное — состояние СО, измененное под внешним воздействием — природным (землетрясения, наводнения, природные пожары и др.) или антропогенным (техногенные пожары и взрывы, прорывы канализационных или водопроводных труб и др.), в основном под воздействием чрезвычайных ситуаций (ЧС) [18].

4. Зброшенное — состояние объекта завершенного строительства, при котором он с некоторого момента времени прекратил свое функционирование.

На рис. 2 приведены виды ДСО с точки зрения визуального дешифрирования по данным спутниковой, воздушной или наземной съемки. Курсивом отмечены СО, которые к депрессивным не относятся.

Как видно, к ДСО относятся как здания, так и сооружения. Находиться они могут на разных стадиях жизненного цикла (ЖЦ), которые условно сведены к четырем: монтаж, эксплуатация, прекращение эксплуатации, демонтаж.

По категории технического состояния зданий выделяются: I–III (по ГОСТ Р 53778–2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния») и I–V (СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений»)¹, ².

Степени повреждения могут отличаться в зависимости от видов внешних воздействий (ЧС или снос СО), но в целом их можно свести к степеням (по землетрясениям): 0 — нет повреждений; 1 — легкие повреждения; 2 — средние повреждения; 3 — тяжелые повреждения; 4 — разрушения; 5 — обвалы² [18].

Виды СО «здоровые», категории I по ГОСТ Р 53778–2010, категорий I и II по СП 13-102-2003, нулевой степени повреждения к ДСО не относятся.

¹ Электронный фонд правовых и нормативных документов. URL: <https://docs.cntd.ru>

² Лидер Проект. URL: <https://lidermsk.ru>



Рис. 2. Классификация ДСО с точки зрения визуального дешифрирования

Fig. 2. Classification of DCO in terms of visual interpretation

Дешифровочные признаки депрессивных строительных объектов

На рис. 3, а показана взаимосвязь областей, относящихся к объекту дешифрирования, сокращенно ОД (в нашем случае — ДСО): U — вся наблюдаемая область (страна, район, регион и т.д.); U_A — активная область (с высокой вероятностью присутствия ОД); U_{II} — пассивная область (с низкой вероятностью); U_T — технологическая область (вся территория, наблюдаемая на изображениях); U_O — область, включающая все ОД заданного класса; u_{OT} — ОД, которые фактически технологически обнаружены; p_1 — ОД, который может быть технологически обнаружен; p_2 — не может быть обнаружен; p_3 — мимикрирующий ОД; p — обнаруженный ОД; u — окрестность ОД, в которой могут лежать другие объекты данного класса (по принципу «поиска грибов в лесу»); u' — область, по которой строится прогноз. Данная область может включать как отдельный объект, так и кластеры объектов, выявленные в разные последовательные моменты времени.

Аналогично для временных интервалов (рис. 3, б): $\Delta t = [t_{II}, t_{II}]$ — весь ЖЦ объекта (кластера объектов) от момента появления t_{II} до момента исчезновения t_{II} ; Δt_{d1} , Δt_{d2} , Δt_{d3} — периоды депрессивных состояний

СО (на этапе строительства, эксплуатации, прекращения эксплуатации); Δt_T — технологический временной интервал (весь временной интервал, по которому территория наблюдается на изображениях); $\Delta t_{OT} = [t_{нач}, t_{кон}]$ — фактически наблюдаемый период времени от начала $t_{нач}$ до окончания $t_{кон}$; $\Delta t_{вр}$ — временная серия наблюдения области u' (период основания прогноза). Интервалы могут пересекаться по-разному, в частности, точки t' и t'' — моменты времени, лежащие на интервале горизонта прогноза в «прошлое» и «будущее», могут быть как в пределах, так и за пределами интервала Δt_T и даже Δt [9].

При этом имеют место соотношения:

$$\begin{aligned} U &= U_A + U_{II}, u_{OT} \leq U_{OT} < U_O < U, \\ U_{OT} &= U_O U_T, \{u_i\} < u_{OT}, 1 \leq i \leq n, \\ p_1 &< U_{OT}, p_2 < U_O - U_{OT}, p < U_{OT}, \\ u &> p, p_3 < u'_{OT}, u'_{OT} = U_{OT} - u_{OT}. \end{aligned} \quad (1)$$

В соотношениях (1): «сложение» — операция объединения множеств; «вычитание» — операция разности множеств; «умножение» — операция пересечения множеств; «равно» — равенство множеств; «меньше» — принадлежность; «больше» — включение; «меньше или равно» — подмножество или совпадение.

Мимикрирующий ОД — это ОД, не обнаруженный технологически ввиду невозможности его различить на изображении по дешифровочным признакам (ДП). То есть он виден технологическими инструментами съемки (находится в U_T), но не различается от фоновых объектов по ДП.

К формам мимикрии ДСО можно отнести невозможность (или трудность) отличия ДСО от: 1) обычных «живых» СО; 2) строящихся СО; 3) деревьев (ввиду скрытия объекта кронами или его зарастания).

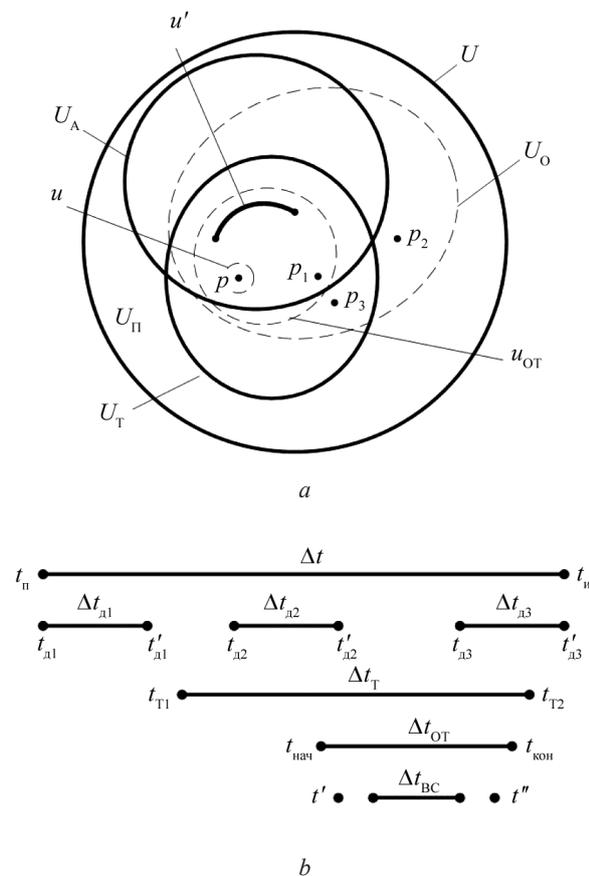


Рис. 3. Схема областей (а) и интервалов времени (б) дешифрирования

Fig. 3. Scheme of areas (a) and time intervals (b) of decoding

На рис. 4 приведен пример мимикрирующего объекта класса ДСО: 70-й квартал, д. 16, г. Темиртау, Карагандинская область, Казахстан. Как видно, данный депрессивный СО по ДП не отличается от других СО и его различить по данным ДП нельзя, он «мимикрирует» на изображении. Часто недостроенные ДСО могут иметь «мимикрирующие» свойства.

На рис. 5 представлена классификация ДП, принятая в рассматриваемой концепции визуального дешифрирования ДСО. На рис. 5: прямые ДП описывают ОД, косвенные ДП описывают фон, которому соответствует ОД.



Рис. 4. Пример мимикрирующего объекта класса ДСО (Яндекс карты)

Fig. 4. An example of a mimicking object of the DCO class (Yandex-maps)

Считаем, что ОД можно установить двойную импликацию в виде:

$$i\alpha_i \rightarrow p \rightarrow i\beta_i \quad (2)$$

где α_i — достаточные ДП; β_i — необходимые ДП. Достаточные ДП — признаки, которые могут однозначно установить принадлежность объекта к определенному классу, отличающие его от объектов других классов. Необходимые ДП — признаки, которые присущи объекту данного класса, но могут быть присущи и объектам других классов, не имеющих пересечений с этим классом. Дизъюнкция достаточных признаков означает, что для идентификации класса объекта достаточно одного из условий из множества $\{\alpha_i\}$ (но это не обязательно полное множество возможных условий идентификации). Дизъюнкция необходимых признаков означает, что объекты класса могут иметь какие-нибудь «черты» из множества $\{\beta_i\}$ (но возможно и другие, не входящие в это множество).

В табл. 1, 2 приведены основные экстерьерные ДП аварийных и заброшенных зданий.

Дешифрирование аварийных зданий по данным воздушной и наземной съемки

Руководствуясь ДП табл. 1, находясь в точке вне ОД, выявлены ДСО (здания) по данным воздушной и наземной съемки по веб-картам Яндекс в рамках технологической области. U_T ограничена территорией и режимами наблюдения (вдоль отснятых дорог в режиме просмотра улиц); U — участок Балашихинского района, время наблюдения — 2017–2021 гг. [9].

На рис. 6 показана разметка ДП (см. табл. 1) на изображениях некоторых аварийных зданий.

В более редких случаях аварийные здания с «толстыми» ДП выявляются по воздушным панорамным снимкам. На рис. 7 изображен объект p и ракурсы $\{q_i, s_i\}$ (q_i — точка; s_i — направление), адрес объекта — ул. Свободы, д. 10/12, мкр. Кера-

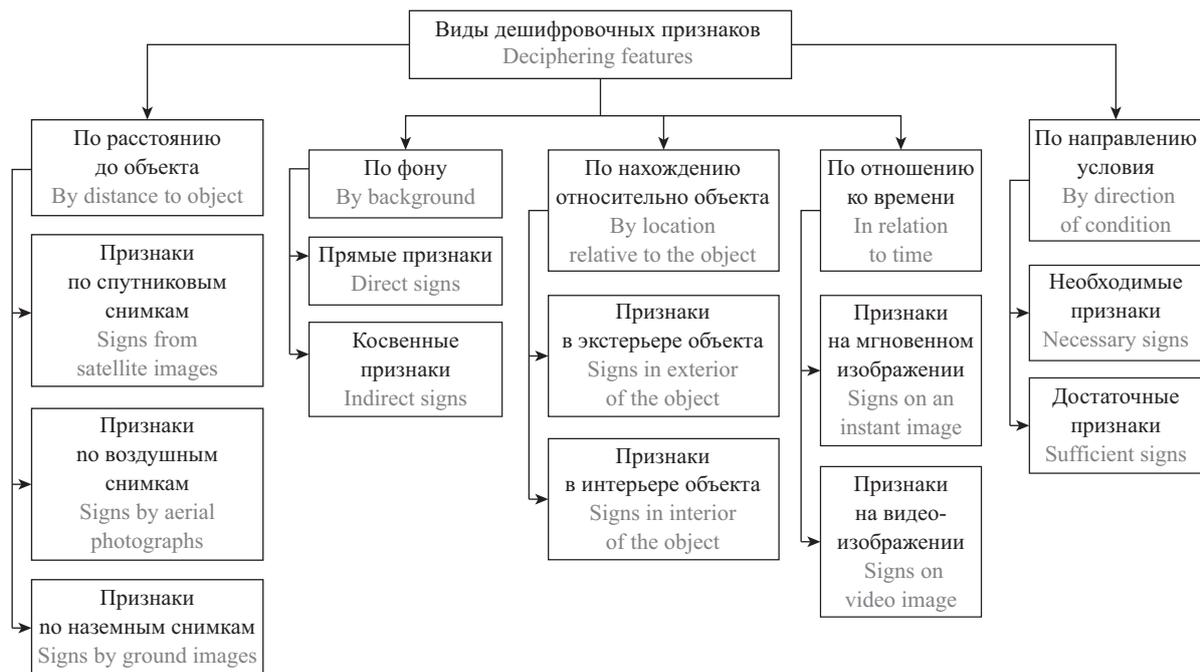


Рис. 5. Виды дешифровочных признаков объектов дешифрирования

Fig. 5. Types of DF of deciphering objects

Табл. 1. Основные экстерьерные ДП аварийных зданий

Table 1. The main exterior DF of emergency houses

Дешифровочные признаки / Decryption features
Сгнивающие деревянные конструкции (балконы, оконные или дверные наличники, приямки и др.) Decaying wooden structures (balconies, window or door frames, pits, etc.)
Наличие деревянных конструкций на бетонной, кирпичной или монолитной основе The presence of wooden structures on a concrete, brick or monolithic basis
Наличие искусственных укреплений / The presence of artificial fortifications
Деформирование конструкций (наличников, несущих, облицовочных) Deformation of structures (platbands, load-bearing, facing)
Откол отделочного покрытия, обнажение кирпича на стенах Spalling of the finishing coating, exposure of bricks on the walls
Повреждения или разрушения дымоходов и труб в вентиляционной системе Damage or destruction of chimneys and pipes in the ventilation system
Наличие обнаженных оконных или дверных проемов / Presence of exposed window or door openings
Ненадёжность закрепления конструкций (карниз или козырек крыши, подвесное крепление балкона и т.д.) Unreliability of fastening structures (cornice or roof visor, suspension fastening of a balcony, etc.)
Откол кусков бетона, обвал кирпичной кладки / Spalling of pieces of concrete, collapse of brickwork
Плохое закрепление электропроводки на стене / Poor wiring on the wall
Повреждения или разрушения желобов или труб в водосточной системе Damage or destruction of gutters or pipes in the drainage system
Латание участков стен или крыш (цементом, кирпичом, листовым металлом и др.) Patching sections of walls or roofs (cement, brick, sheet metal, etc.)
Повреждения кровли крыши (шифера, черепицы, рубероида и др.) Damage to the roof of the roof (slate, tiles, roofing material, etc.)
Трещины на стенах и отмостках / Cracks in walls and decks
Обвал участков стен и крыш / Collapse of sections of walls and roofs

...

Табл. 2. Основные экстерьерные ДП заброшенных СО

Table 2. Main exterior DFs of abandoned CO

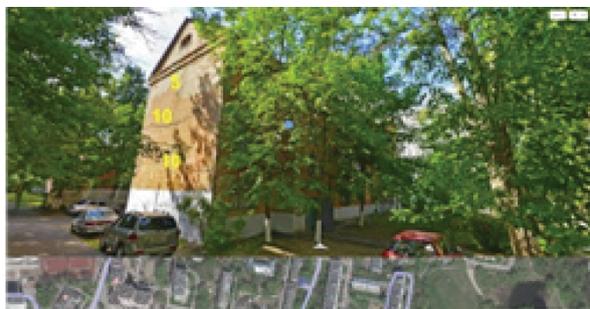
Дешифровочные признаки / Deciphering features
Достаточные признаки / Sufficient features
Растительность на объекте (зарастание объекта) / Vegetation on the object (overgrowing of the object)
Строительный мусор по периметру объекта / Construction debris around the perimeter of the facility
Частичное или полное обрушение крыши / Partial or complete roof collapse
Обнажение внутренности объекта (помещений) / Exposure of the interior of the object (rooms)
Ржавые конструкции (для сооружений из металла) / Rusty structures (for metal structures)
Наличие открытых или глухих проёмов и отсутствие закрытых (оконные, дверные, арочные) The presence of open or blind openings and the absence of closed ones (window, door, arched)
Частичное или полное обрушение стен / Partial or complete wall collapse
Наличие свалки на объекте или по его периметру / The presence of a landfill at the facility or along its perimeter
...
Необходимые признаки / Necessary features
Наличие свалки в окрестности объекта, свалки на месте объекта The presence of a landfill in the vicinity of the object, a landfill at the site of the object
Наличие растительности по периметру объекта / The presence of vegetation around the perimeter of the object
Видимое отсутствие дорог, подведенных к объекту (ввиду их разрушения, зарастания или отсутствия) Apparent absence of roads leading to the object (due to their destruction, overgrowth or absence)
Отсутствие признаков техногенной «жизни» в окрестности объекта (автомобилей, парковок и др.) The absence of signs of technogenic “life” in the vicinity of the object (cars, parking lots, etc.)
Наличие надписей или изображений на стенах, крыше или полу объекта The presence of inscriptions or images on the walls, roof or floor of the facility
Загрязнение или разрушение стекол / Dirty or broken glass
Наличие заброшенных объектов в окрестности объекта / The presence of abandoned objects in the vicinity of the object
...

мик; объект p' и ракурсы $\{q'_i, s'_i\}$ (q'_i — точка; s'_i — направление), адрес объекта — Кооперативная ул., д. 35, мкр. Железнодорожный (г. Балашиха, Московская область). Как видно, по таким снимкам хорошо дешифрируются крупные «дефекты» крыши, а также крупные «дефекты» на стенах, в особенности оконные и дверные проемы. Оконные проемы на объекте p в точке съемки q_1 заколочены (глухие

проемы), а на объекте p' в точке съемки q'_i на них нет оконных рам (открытые проемы). Признаком наличия «жизни» в здании p' является наличие открытых оконных и дверного проемов везде, кроме трех на втором этаже, где вставлены окна (закрытые проемы). Изображения p' не показаны с видов q'_4, q'_5, q'_6 , так как они неинформативны: q'_4 — объект скрыт кронами деревьев, q'_5 и q'_6 — высотными зданиями.



a



b

Рис. 6. (начало) Примеры аварийных зданий (Яндекс карты): a — ул. Евстафьева, д. 13а (2018 г.); b — мкр. Кучино, ул. Почтовая, д. 3 (2018 г.)

Fig. 6. (starting) Examples of emergency houses (Yandex maps): a — 13a Evstafieva st. (2018); b — microdistrict Kuchino, Pochtovaya st., 3 (2018)



Рис. 6. (окончание) Примеры аварийных зданий (Яндекс карты): *c* — ул. Зеленая, д. 7 (2018 г.); *d* — ул. Зеленая, д. 5 (2018 г.); *e* — мкр. Ольгино, ул. Жилгородок, д. 17 (2017 г.); *f* — мкр. Ольгино, ул. Жилгородок, д. 30 (2018 г.); *g* — ул. Орджоникидзе, д. 15 (2018 г.); *h* — мкр. Кучино, ул. Почтовая, д. 2А (2018 г.)

Fig. 6. (ending) Examples of emergency houses (Yandex maps): *c* — Zelenaya st., 7 (2018); *d* — Zelenaya st., 5 (2018); *e* — microdistrict Olgino, Zhilgorodok st., 17 (2017); *f* — microdistrict Olgino, Zhilgorodok st., 30 (2018); *g* — microdistrict Ordzhonikidze, D. 15 (2018); *h* — microdistrict Kuchino, Pochtovaya str., 2A (2018)

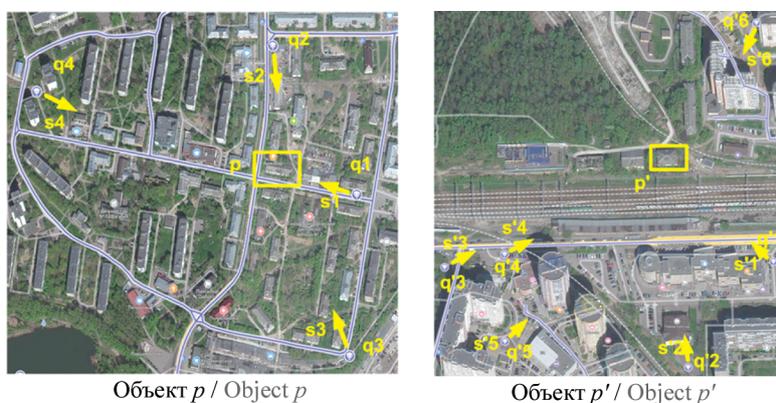


Рис. 7. (начало) Примеры съемки аварийных объектов с разных ракурсов по данным воздушной панорамной съемки (Яндекс карты)

Fig. 7. (starting) Examples of shooting emergency objects from different angles according to aerial panoramic shooting (Yandex-maps)



Рис. 7. (окончание) Примеры съемки аварийных объектов с разных ракурсов по данным воздушной панорамной съемки (Яндекс карты)

Fig. 7. (ending) Examples of shooting emergency objects from different angles according to aerial panoramic shooting (Yandex-maps)

Дешифрирование заброшенных зданий по данным спутниковой и воздушной съемки

На рис. 8, 9 приведены примеры заброшенных зданий, обнаруженных в Балашихинском районе Московской области (область наблюдения), выявленных по спутниковым снимкам

и сопоставленных с наземными и воздушными панорамными снимками в Яндекс картах. Как видно, заброшенные СО дешифрируются и на спутниковых снимках тоже. ≈ — примерный адрес объекта (при обнаружении точного адреса).

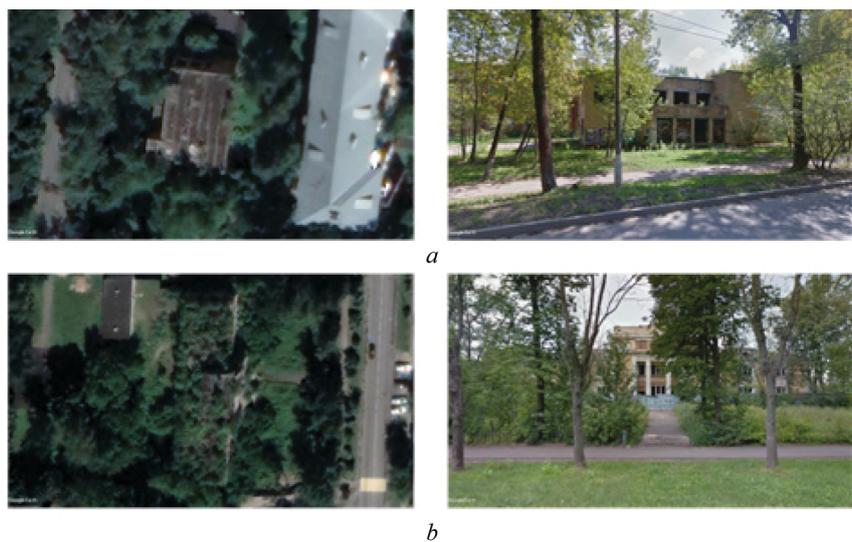


Рис. 8. (начало) Примеры заброшенных зданий по спутниковым и наземным панорамным снимкам (Яндекс карты): a — ул. Орджоникидзе, д. 6; b — ул. Флёрова, д. 3А

Fig. 8. (starting) Examples of abandoned houses from satellite and ground-based panoramic images (Yandex Maps): a — Ordzhonikidze st., 6; b — 3A Flerova st.



Рис. 8. (окончание) Примеры заброшенных зданий по спутниковым и наземным панорамным снимкам (Яндекс карты): *a* — ул. Орджоникидзе, д. 6; *b* — ул. Флёрва, д. 3А; *c* — Почтовая ул., д. 4к1, мкр. Кучино (≈); *d* — Советская ул., д. 48 (≈); *e* — Зеленая ул., д. 5 (≈); *f* — Аптекарская ул., д. 9/1, мкр. Салтыковка (≈)

Fig. 8. (ending) Examples of abandoned houses from satellite and ground-based panoramic images (Yandex Maps): *a* — Ordzhonikidze st., 6; *b* — 3A Flerova st.; *c* — 4k1 Postal st., microdistrict Kuchino (≈); *d* — Sovetskaya st., 48 (≈); *e* — Zelenaya str., 5 (≈); *f* — Aptekarskaya st., 9/1, microdistrict Saltykovka (≈)

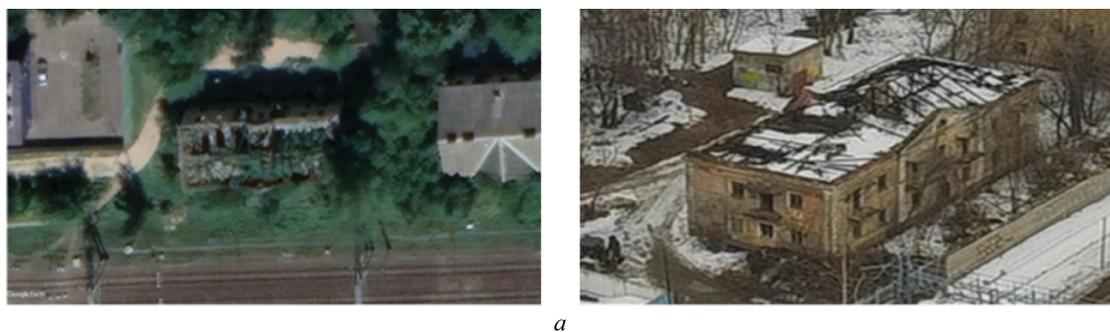


Рис. 9. (начало) Примеры заброшенных зданий по спутниковым и воздушным панорамным снимкам (Яндекс карты): *a* — Кооперативная ул., д. 37, мкр. Железнодорожный

Fig. 9. (starting) Examples of abandoned houses from satellite and aerial panoramic images (Yandex Maps): *a* — Cooperative st. 37, microdistrict Zheleznodorozhny



Рис. 9. (окончание) Примеры заброшенных зданий по спутниковым и воздушным панорамным снимкам (Яндекс карты): *b* — Промышленная ул., д. 49, мкр. Саввино; *c* — Советская ул., д. 83, к. 2, мкр. Железнодорожный (≈)

Fig. 9. (ending) Examples of abandoned houses from satellite and aerial panoramic images (Yandex Maps): *b* — Promyshlennaya st., 49, microdistrict Savvino; *c* — Sovetskaya st., 83, k. 2, microdistrict Railway (≈)

Экологический аспект депрессивных строительных объектов

В Арктике находится огромное количество ДСО. Могут «умирать» не только отдельные СО, но и образовываться целые «вымершие» или почти «вымершие» населенные пункты, ставшие жертвами экономической регрессии: заброшенные или исчезнувшие деревни, поселки, агломерации, промышленные зоны, города-призраки. Например, пос. Кадьяччан в Сусуманском районе Магаданской области стал городом-призраком в 2010 г. Территорий с высокой вероятностью возникновения и «размножения» ДСО в Арктическом регионе огромное множество. К ним относятся: 1) зоны высокого риска природных или антропогенных ЧС; 2) периферийные и изолированные населенные пункты, окраины городов; 3) локации временной социально-экономической активности или устойчивого уменьшения этой активности (например, населенные пункты «при» рудниках или закрытых градообразующих предприятиях); 4) дотационные регионы (с зависимой экономикой); 5) ДСО имеют значительный экологический аспект [9].

ДСО являются источником свалок. На рис. 10 отражены основные механизмы образования свалок за счет ДСО. Завал — один из основных видов

свалок, возникающий при обвале СО, в результате сноса, саморазрушения или ЧС.

На рис. 11 приведен пример динамики разрушения (деструкции) небольшого массива СО (г. Норильск, ул. Заводская, железнодорожное депо, юго-восточная окраина). Иллюстрируются в рамках наблюдаемого периода времени спутниковой съемки от $t_{нач}$ — июнь 2002 г. до $t_{кон}$ — сентябрь 2022 г. последовательных кадров. На рисунке имеется 10 объектов, которые один за другим разрушаются, например: (2) начал разрушаться после (5); (9) практически не разрушен; (5) и (6) разрушаются практически синхронно. В самый ранний момент наблюдения $t_{нач}$ объекты (2), (5), (7), (8) уже находились в процессе разрушения, а в самый поздний момент наблюдения $t_{кон}$ объекты (3) и (9) еще не разрушены. То есть за пределами наблюдения динамика разрушений не видна, но происходит. (2) и (7) разрушаются с более высокой скоростью, чем другие. Конечным состоянием разрушения объекта является свалка (см. объекты (2) и (7) в момент $t_{кон}$).

ДСО коррелируют с особенностями отношения к землепользованию в нашей стране, представленными определенной системой механизмов поведения.

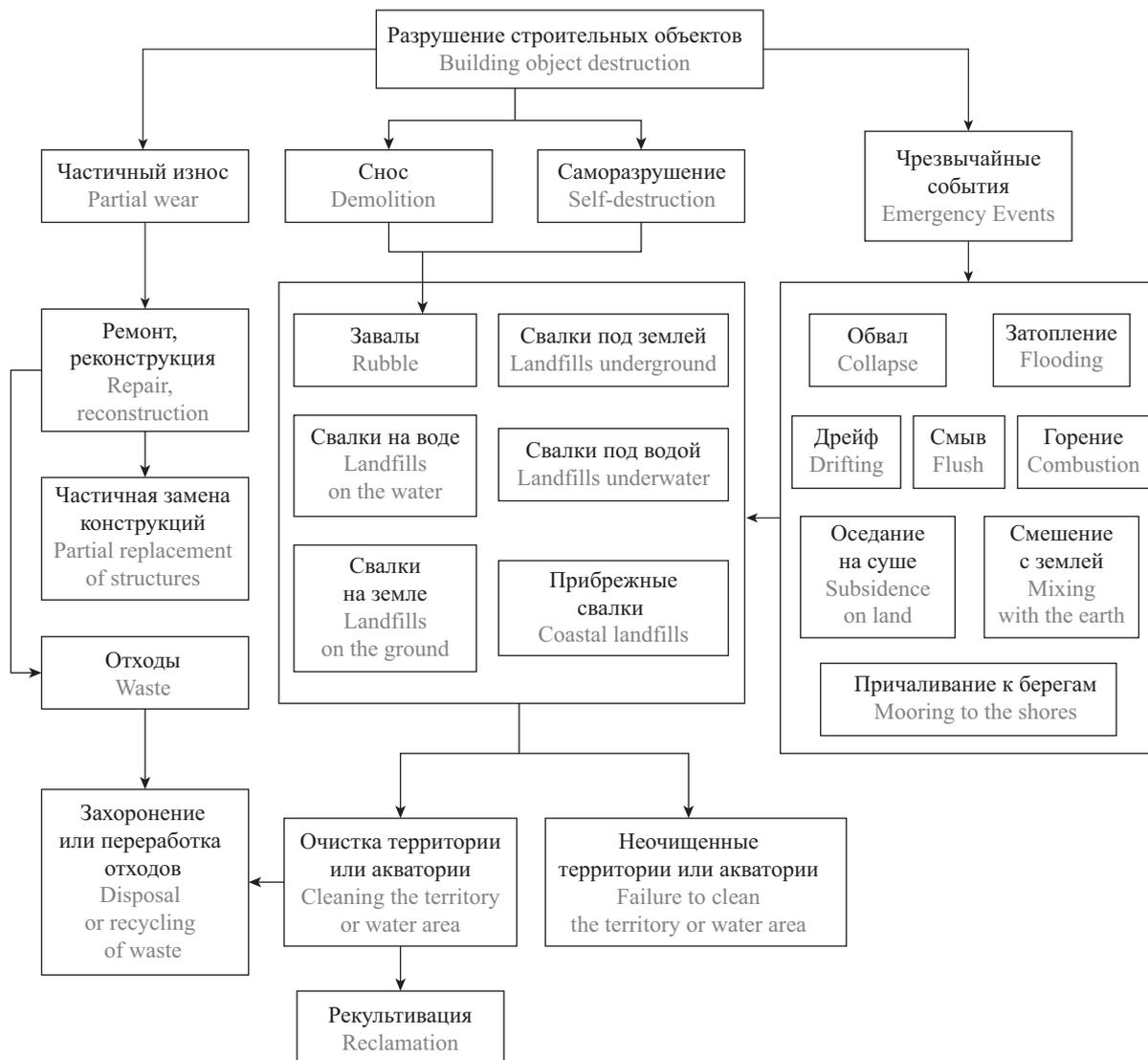


Рис. 10. Механизмы образования свалок от ДСО

Fig. 10. Mechanisms for the formation of landfills from DCO



$t_{\text{нач}} / t_m$



$t_{\text{кон}} / t_{fm}$

a

Рис. 11. (начало) Динамика разрушения массива СО: а — на границах наблюдаемого периода с обозначениями объектов 1–10 (Google Earth)

Fig. 11. (starting) The dynamics of the destruction of the CO array: a — at the boundaries of the observed period with designations of objects 1-10 (Google Earth)

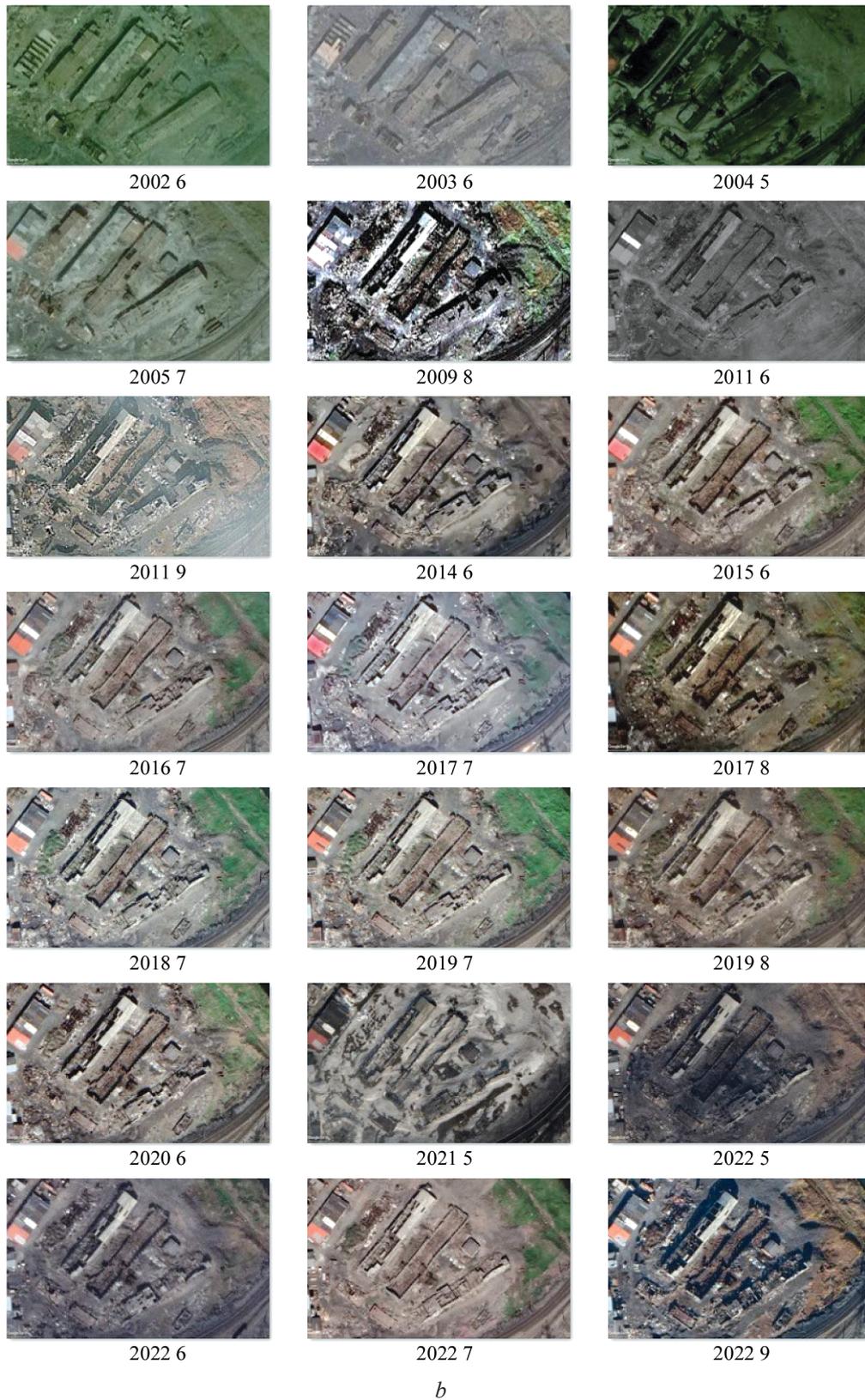


Рис. 11. (окончание) Динамика деструкции массива СО: *b* — раскадровка (названия кадров в формате «год месяц») (Google Earth)

Fig. 11. (ending) The dynamics of the destruction of the CO array: *b* — storyboard (frame names in year-month format) (Google Earth)

Приведем некоторые из этих механизмов поведения:

1. Отстройка «временных» объектов, снос незаконных или якобы незаконных объектов, создание «временных» фирм, контор, снос одних объектов и постройка других. Все это аргументируется порчей городского ландшафта, потребностями в очередных торговых центрах или «человейниках», неадекватностью в производствах и т.д.

2. Осваивание новых природных пространств (вырубка леса, расширение кавальеров и т.д.), а также воздвижение новых зданий вместо реконструкции уже существующих в заброшенных зонах.

3. Сохранение заброшенной территории в ее состоянии в течение многих лет, отсутствие каких-либо мер по ее рекультивации или реконструкции. Усугубление неблагоприятной экологической ситуации за счет отсутствия мер по рекультивации заброшенной территории.

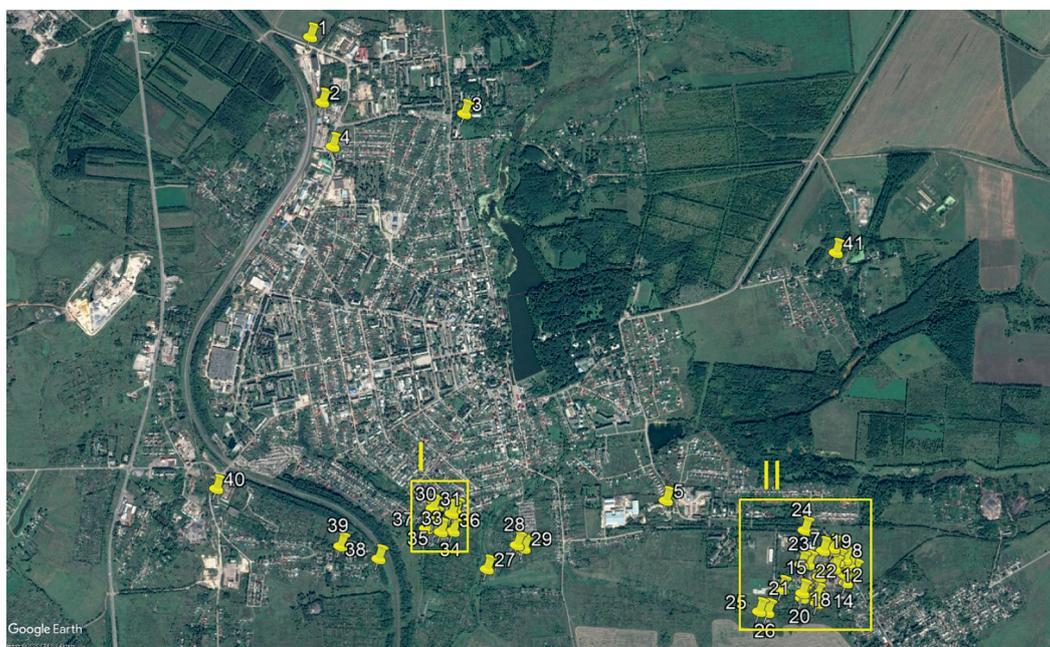
4. Прекращение, заморозка строительства, недоброкачественное строительство новых объектов ввиду невозможности их дофинансирования или афер застройщиков.

Выявление заброшенных зданий в Тульском регионе

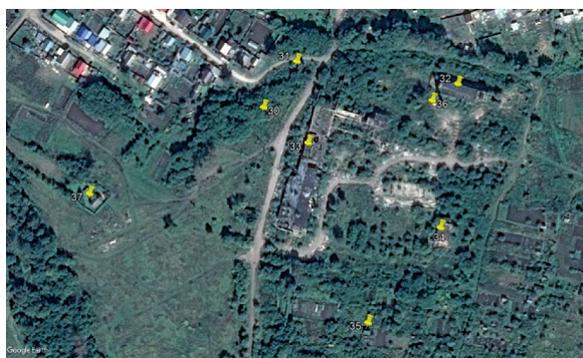
Приведем примеры обнаружения заброшенных СО в городах Тульского региона. Исследование показало большое количество заброшенных СО, в частности, в таких городах, как: Богородицк, Косая Гора, Киреевск, Суворов, Товарковский, Новомосковск, Ефремов.

На рис. 12 представлен сценарий 1 — разметка заброшенных СО в г. Богородицк, обнаружен 41 объект.

На рис. 13 приведен сценарий 2 — разметка заброшенных СО в г. Киреевск, обнаружено 82 объекта.



a



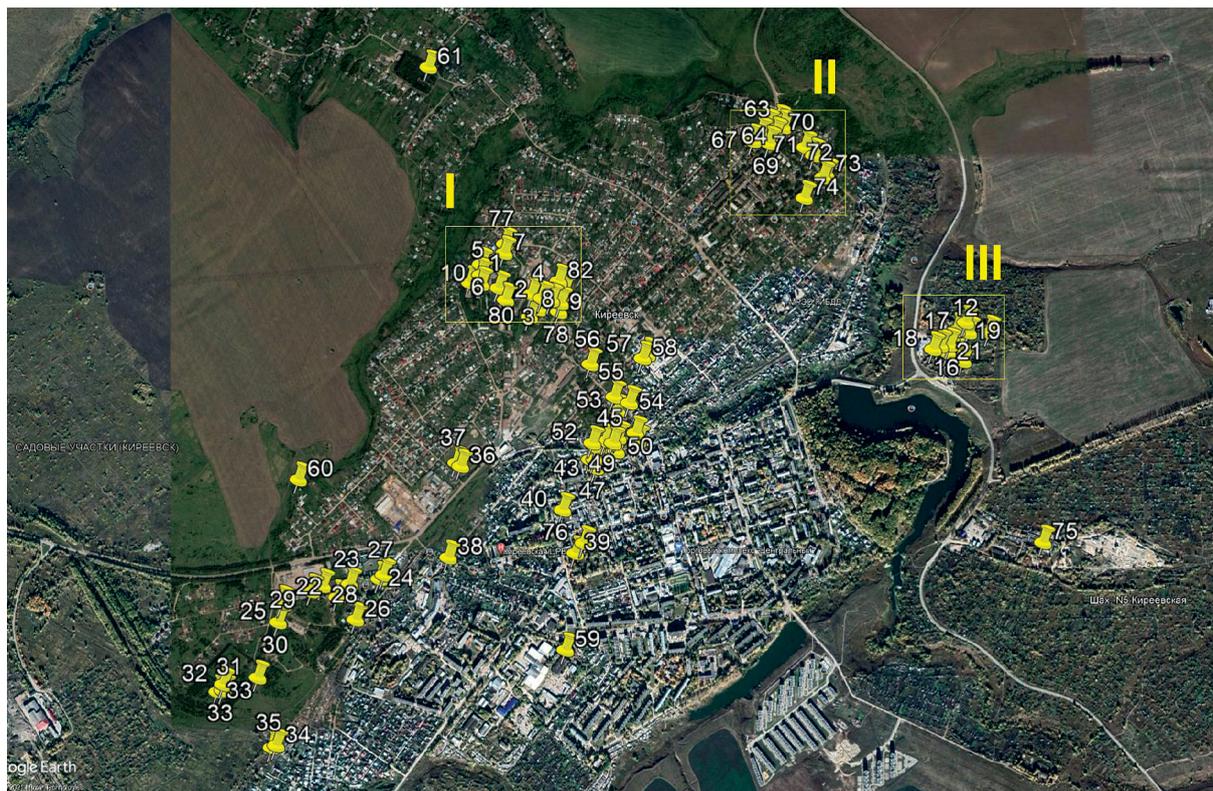
b



c

Рис. 12. Разметка заброшенных СО: *a* — общий вид; *b* — фрагмент I; *c* — фрагмент II (г. Богородицк, Тульская область) (Google карты)

Fig. 12. Marking of abandoned COs: *a* — general view; *b* — Fragment I; *c* — Fragment II (Bogoroditsk, Tula Region) (Google Maps)



a



b



c

Рис. 13. Разметка заброшенных СО: а — общий вид; б — фрагмент I; с — фрагмент II (г. Киреевск, Тульская область) (Google-карты)

Fig. 13. Marking of abandoned COs: a — general view; b — Fragment I; c — Fragment II (Kireevsk, Tula Region) (Google Maps)

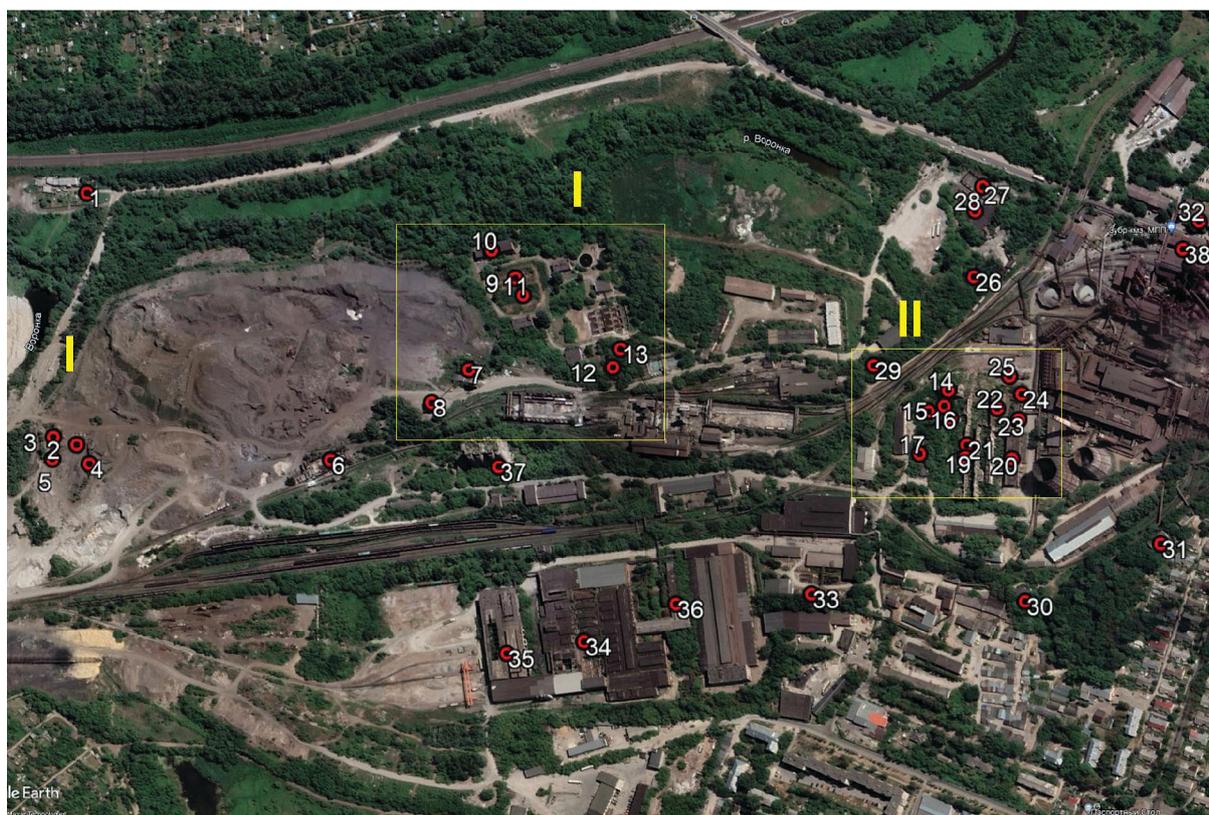
На рис. 14 приведен сценарий 3 — пример промзоны Косогорского металлургического завода, пос. Косая Гора, г. Тула, «населенной» огромным количеством заброшенных СО (только на представленном участке территории завода обнаружено 38 объектов), включающих в высокой плотности ржавеющие металлические сооружения.

На рис. 12–14 показаны фрагменты I–III — кластеры (агломерации) заброшенных объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результатами на данный момент являются определение наборов дешифровочных признаков

различных классов ДСО, установление состояния окружающей среды, картографирование ДСО на множестве областей интереса, не только Арктического региона, рекомендации по проведению дешифрирования ДСО, их параметризации и оценки влияния на окружающую среду (экологического, экономического и социального). Для применения комплексного визуального подхода нет необходимости в обладании специальными компьютерными навыками, используются открытые ресурсы, таким образом обеспечивая широкую аудиторию неравнодушных к состоянию природной и городской среды.



a



b



c

Рис. 14. Разметка заброшенных СО: *a* — общий вид; *b* — фрагмент I; *c* — фрагмент II (Косогорский металлургический завод, пос. Косая Гора, г. Тула) (Google карты)

Fig. 14. Marking of abandoned COs (Kosogorsky metallurgical plant, Kosaya Gora settlement, Tula): *a* — general view; *b* — fragment I; *c* — fragment II (Kosogorsky Metallurgical Plant, village Oblique Mountain, Tula) (Google-maps)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описан метод визуального дешифрирования недостроенных, аварийных, поврежденных и заброшенных строительных объектов.

С учетом экономической регрессии, дотационного характера огромных территорий России проблема депрессивных строительных объектов в нашей стране актуальна как никогда, и в частности, в арктическом регионе. В России огромное количество заброшенных строительных объектов (зданий, сооружений, строений), среди которых: электрические подстанции, гидростанции, радиотелескопы,

башни и градирни, мосты и железнодорожные колеи и т.д. Среди заброшенных объектов и территорий можно встретить в прошлом промышленно значимые объекты.

Возможность дешифрирования депрессивных строительных объектов по данным аэрокосмического мониторинга позволяет в масштабе страны и планеты в целом проводить их кадастровый учет, картографирование и систематизацию, оценивать количественные и качественные характеристики этих объектов и депрессивности исследуемых регионов, что является важной задачей экологического мониторинга.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Казарян М.Л., Рихтер А.А., Шахраманьян М.А., Недков Р. Космический мониторинг объектов захоронения твердых бытовых отходов и промышленных отходов (ТБО и ПО): теоретико-методические и социально-экономические аспекты : монография. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2019. 278 с. DOI: 10.12737/monography_5c4efa771779a4.89852001. EDN ZAIMOL.
2. Рязанова Н.Е., Сорокин П.А. Опыт применения дистанционного зондирования растительности при исследовании динамики экосистем российской Арктики // Науки о земле: вчера, сегодня, завтра : мат. III Междунар. науч. конф. 2017. С. 7–12. EDN ZBJMLL.
3. Заров Е.А. Исследование Арктики из космоса // GoArctic. 2018. URL: <https://goarctic.ru/news/issledovanie-arktiki-iz-kosmosa/>
4. Morckel V.C. Spatial characteristics of housing abandonment // Applied Geography. 2014. Vol. 48. Pp. 8–16. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.01.001
5. Zou S., Wang L. Detecting individual abandoned houses from google street view: A hierarchical deep learning approach // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. Vol. 175. Pp. 298–310. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.03.020
6. Zou S., Wang L. Mapping individual abandoned houses across cities by integrating VHR remote sensing and street view imagery // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2022. Vol. 113. P. 103018. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103018
7. Fiorillo F., Perfetti L., Cardani G. Automated Mapping of the roof damage in historic buildings in seismic areas with UAV photogrammetry // Procedia Structural Integrity. 2023. Vol. 44. Pp. 1672–1679. DOI: 10.1016/j.prostr.2023.01.214
8. Fiorillo F., Cardani G., Balin S. Scan-to-NBIM: integrated survey and information modelling for the documentation of structural damage // DENNE. 2022.
9. Рихтер А.А., Шахраманьян М.А. Направления проектных работ в области космического экологического мониторинга и трехмерного моделирования : монография. М. : ИНФРА-М, 2022. 277 с. DOI: 10.12737/1858257
10. Kazaryan M., Shakhramanyan M., Richter A., Getsov P., Gramatikov P. Global system for space monitoring of environmental littering // Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. 2022. Vol. 75. Issue 7. Pp. 1028–1036. DOI: 10.7546/CRABS.2022.07.11
11. Mason D.C., Dance S.L., Cloke H.L. Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.032003
12. Gao Y., Gao M., Damdinsuren B., Dorjsuren M. Early drought warning based on chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in Xilingol League of China // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.032006
13. Lung H., Huang A., Goldberg M. Special section guest editorial: satellite remote sensing for disaster monitoring and risk assessment, management, and mitigation // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.032001
14. Meddeber L., Zouagui T., Berrached N. Efficient photometric and geometric stitching approach for remote sensing images based on wavelet transform and local invariant // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.034502
15. Akhavan Z., Hasanlou M., Hosseini M., Becker-Reshef I. Soil moisture retrieval improvement over agricultural fields by adding entropy–alpha dual-polarimetric decomposition features // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.034516
16. Cai R., Shang G. Flexible 3-D Gabor features fusion for hyperspectral imagery classification // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.036508
17. Massout S., Smara Y. Panchromatic and multispectral image fusion using the spatial frequency and the à trous wavelet transform // Journal of Applied Remote Sensing. 2021. Vol. 15. Issue 3. DOI: 10.1117/1.JRS.15.036510
18. Шантала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шантала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций : учебное пособие. Белгород : БГТУ, 2010. 165 с. EDN QKJYVJ.

Поступила в редакцию 11 октября 2023 г.

Принята в доработанном виде 23 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 31 октября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: **Маретта Леоновна Казарян** — кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры химии и физики; **Северо-Осетинская государственная медицинская академия (СОГМА)**; 362019, Республика Северная Осетия-Алания, г. Владикавказ, ул. Пушкинская, д. 40; Scopus: 54782632100, ORCID: 0000-0001-9728-7818; maretta@bk.ru;

Андрей Александрович Рихтер — кандидат технических наук, научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС» (НИИ «АЭРОКОСМОС»);** 105064, г. Москва, Гороховский пер., д. 4; Scopus: 57020744500, ORCID: 0000-0001-9728-7818; urfin17@yandex.ru;

Михаил Андраникович Шахрамьян — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры безопасность жизнедеятельности; **Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет);** 125167, г. Москва, пр-т Ленинградский, д. 49/2; **Государственный университет просвещения (ГУП);** 141014, г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, д. 24; Scopus: 57193489919, ORCID: 0000-0001-9728-7818; 7283763@mail.ru;

Сергей Михайлович Григорьев — кандидат военных наук, доцент, доцент кафедры безопасность жизнедеятельности; **Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет);** 125167, г. Москва, пр-т Ленинградский, д. 49/2; Scopus: 57226469332; sgrigorev@fa.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kazaryan M.L., Rikhter A., Shakhramanyan M., Nedkov R. *Monitoring and forecasting of socio-economic development of regions based on the analysis of satellite images (for example, solid waste disposal facilities and their impact on the environment)*. Moscow, SIC INFRA-M Publ., 2019; 278. DOI: 10.12737/monography_5c4efa771779a4.89852001. EDN ZAIMOL. (rus.).
2. Ryazanova N.E., Sorokin P.A. Experience in using remote sensing of vegetation in studying the dynamics of ecosystems in the Russian Arctic. *Geosciences: yesterday, today, tomorrow : materials of the III International Scientific Conference*. 2017; 7-12. EDN ZBJMLL. (rus.).
3. Zarov E.A. Exploring the Arctic from space. *GoArctic*. 2018. URL: <https://goarctic.ru/news/issledovanie-arktiki-iz-kosmosa/> (rus.).
4. Morckel V.C. Spatial characteristics of housing abandonment. *Applied Geography*. 2014; 48:8-16. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.01.001
5. Zou S., Wang L. Detecting individual abandoned houses from google street view: A hierarchical deep learning approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2021; 175:298-310. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2021.03.020
6. Zou S., Wang L. Mapping individual abandoned houses across cities by integrating VHR remote sensing and street view imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2022; 113:103018. DOI: 10.1016/j.jag.2022.103018
7. Fiorillo F., Perfetti L., Cardani G. Automated Mapping of the roof damage in historic buildings in seismic areas with UAV photogrammetry. *Procedia Structural Integrity*. 2023; 44:1672-1679. DOI: 10.1016/j.prostr.2023.01.214
8. Fiorillo F., Cardani G., Balin S. Scan-to-NBIM: integrated survey and information modelling for the documentation of structural damage. *DENNE*. 2022.
9. Richter A.A., Shakhramanyan M.A. *Directions of design work in the field of space environmental monitoring and three-dimensional modeling : monograph*. Moscow, INFRA-M Publ., 2022; 277. DOI: 10.12737/1858257 (rus.).
10. Kazaryan M., Shakhramanyan M., Richter A., Getsov P., Gramatikov P. Global system for space monitoring of environmental littering. *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2022; 75(7):1028-1036. DOI: 10.7546/CRABS.2022.07.11
11. Mason D.C., Dance S.L., Cloke H.L. Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.032003
12. Gao Y., Gao M., Damdinsuren B., Dorjsuren M. Early drought warning based on chlorophyll fluorescence and normalized difference vegetation index in Xilingol League of China. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.032006
13. Lung H., Huang A., Goldberg M. Special Section Guest Editorial: Satellite Remote Sensing for Disaster Monitoring and Risk Assessment, Management, and Mitigation. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.032001
14. Meddeber L., Zouagui T., Berrached N. Efficient photometric and geometric stitching approach for remote sensing images based on wavelet transform and local invariant. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.034502
15. Akhavan Z., Hasanlou M., Hosseini M., Becker-Reshef I. Soil moisture retrieval improvement over agricultural fields by adding entropy-alpha dual-polarimetric decomposition features. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.034516
16. Cai R., Shang G. Flexible 3-D Gabor features fusion for hyperspectral imagery classification. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.036508

17. Massout S., Smara Y. Panchromatic and multispectral image fusion using the spatial frequency and the à trous wavelet transform. *Journal of Applied Remote Sensing*. 2021; 15(3). DOI: 10.1117/1.JRS.15.036510

18. Shaptala V.G., Radoutsky V.Yu., Shaptala V.V. *Fundamentals of modeling emergency situations: tutorial*. Belgorod, BSTU, 2010; 165. EDN QKJYVJ. (rus.)

Received October 11, 2023.

Adopted in revised form on October 23, 2023.

Approved for publication on October 31, 2023.

Bi o n o t e s : **Marettak L. Kazaryan** — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemistry and Physics; **North-Ossetian State Medical Academy (SOGMA)**; 40 Pushkinskaya st., Republic of North Ossetia-Alania, Vladikavkaz, 362019, Russian Federation; Scopus: 54782632100, ORCID: 0000-0001-9728-7818; marettak@bk.ru;

Andrey A. Richter — Candidate of Technical Sciences, Researcher; **Aerospace Monitoring Research Institute "AEROSPACE"**; 4 Gorokhovskiy lane, Moscow, 105064, Russian Federation; Scopus: 57020744500, ORCID: 0000-0001-9728-7818; urfin17@yandex.ru;

Mikhail A. Shakhramanyan — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Life Safety; **Financial University under the Government of the Russian Federation**; 49/2 Leningradskiy Ave., Moscow, 125167, Russian Federation; **State University of Enlightenment (SUE)**; 24 Vera Voloshina st., Mytishchi, 141014, Russian Federation; Scopus: 57193489919, ORCID: 0000-0001-9728-7818; 7283763@mail.ru;

Sergey M. Grigoriev — Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Life Safety; **Financial University under the Government of the Russian Federation**; 49/2 Leningradskiy Ave., Moscow, 125167, Russian Federation; Scopus: 57226469332; sgrigorev@fa.ru.

Contribution of the authors: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Authors declare that there is no conflict of interest.