

## ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 004.6+004.94+681.518

DOI: 10.30533/0536-101X-2021-65-4-461-472

**К вопросу об использовании каталога DISCOS как источника  
для агрегирования данных в ГИС околоземного космического пространства.  
Часть 1**

© 2021 г. П.Ю. Орлов\*, А.Е. Луговской

*Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия**\*knightrider3e0@gmail.com*

**On the application of DISCOS catalog as a source for data aggregation in GIS  
of near-Earth space. Part 1**

P.Yu. Orlov\*, A.E. Lugovskoi

*Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia**\*knightrider3e0@gmail.com**Received December 28, 2020**Revised April 7, 2021**Accepted August 2, 2021***Keywords;** Near-Earth space, space object, space debris, web GIS, DBMS, portal, DISCOS.

**Summary.** A growing number of objects in near-Earth space had influenced the specialists of various industries related to rocket and space technology to join their efforts to control and evaluate its condition. One of the results of such cooperation was the project titled “Database and Information System Characterizing Objects in Space”, known by the acronym DISCOS. Over the last 30 years, the European Space Agency project has developed in 3 stages starting from a primitive database with some related small software for a limited number of users and turning into an information system based on the client-server and RESTful web services, which works as a single source of reference information on cataloged rocket and space technology assets with general information on space objects, fragmentation data, information on launches and launch sites, launch vehicles and their stages, as well as initial and destination orbital parameters. The authors' interest of this system lies in the fact that having no tools to visualize spatial data of space objects and to provide their predicted coordinates, according to the results of the integral assessment, DISCOS is superior to the UCS satellite database (the Union of Concerned Scientists) which was previously selected as a reference in terms of information content, has its own API, and combined with the Cesium library can act as one of the data sources for the GIS of near-Earth space prototype, which will be discussed in the second part of this article.

**Citation:** Orlov P.Yu., Lugovskoi A.E. Application of DISCOS catalog as a source for data aggregation into GIS of near-Earth space. Part 1. *Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying»*. 2021, 65 (4): 461–472. [In Russian]. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-461-472.

*Поступила 28 декабря 2020 г.**После доработки 7 апреля 2021 г. Принята к публикации 2 августа 2021 г.*

**Ключевые слова:** околоземное космическое пространство, космический объект, космический мусор, web-ГИС, СУБД, портал, DISCOS.

Обосновывается необходимость применения геоинформационных технологий для решения задач ракетно-космической отрасли и разработки соответствующей ГИС. Представлены сведения о многолетней работе Европейского космического агентства над системой для сбора, обработки, хранения и представления справочной информации по запускам космических аппаратов, ракетноносителям, размерам, массе, форме, владельце космических объектов, регистрационным сведениям, а также истории изменения орбитальных параметров для всех когда-либо отслеживаемых с 1957 г. и занесённых в каталоги объектов. Показаны результаты обновлённого сравнительного анализа и интегральной оценки возможностей системы DISCOS.

**Для цитирования:** Орлов П.Ю., Луговской А.Е. К вопросу об использовании каталога DISCOS как источника для агрегирования данных в ГИС околоземного космического пространства. Часть 1 // *Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2021. Т. 65. № 4. С. 461–472. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-4-461-472.

## Введение

В настоящее время коммерциализация космической отрасли ведёт к заполнению околоземного космического пространства различными объектами ракетно-космической техники, например, малыми спутниками класса CubeSat, число которых на орбите уже превысило одну тысячу. Их поиск и идентификация — сложные задачи, а отсутствие маневровых двигателей у группировок подобных аппаратов представляет собой серьёзную угрозу для существующих космических систем. Кроме того, наблюдается постоянный рост как объёма данных от наземных станций наблюдения за ближним космосом, так и данных дистанционных спутниковых измерений объектов на Земле и в окружающем её пространстве. Геоинформатика в настоящее время рассматривается как интегратор многих наук и технологий, оперирующих пространственно-координированными данными. Взаимодействие геоинформатики, баллистики, небесной механики, космической навигации, астрометрии и телекоммуникаций открывает новые возможности для оперативной передачи данных о положении объектов в околоземном космическом пространстве (ОКП), получения доступа к распределённым хранилищам данных и ввода массивов тематических данных в международный научный оборот. При этом web-ГИС — наиболее эффективное средство для обработки распределённых данных и быстрого представления результатов их обработки для широкого круга пользователей.

### Геоинформационное моделирование околоземного космического пространства

До настоящего времени отсутствовало понятие геоинформационной системы околоземного космического пространства. При этом существующая нормативно-правовая и техническая документация не регламентирует разработку геоинформационных систем, работающих с трёхмерными пространственными данными, не говоря уже об их временной динамике (так называемые 4D-системы). Также традиционная классификация ГИС по

пространственному охвату привязана к земной поверхности. В различных организациях, занимающихся вопросами мониторинга и моделирования околоземного космического пространства, решается множество частных задач, при этом взаимодействие между ними часто минимально. Доступ к результатам их деятельности чаще всего закрыт. Доступные каталоги и базы данных часто содержат обрывочные, неактуальные сведения и рассматривают космические объекты как точечные, а не как трёхмерные. Чаще всего они не рассматривают объекты космического мусора (КМ). Для получения и обработки данных с целью безопасной эксплуатации околоземного космического пространства необходимо наличие программных средств, которые позволят выполнять всеобъемлющее моделирование обстановки в ОКП путём объединения и агрегирования данных организаций мировой космической отрасли. Очевидны перспективы повышения эффективности контроля засорённости околоземного космического пространства и поддержки принятия решений на основе использования геоинформационных технологий.

В ходе ранее проведённых исследований [1], для моделирования околоземного космического пространства со всеми находящимися в нём объектами было предложено использовать ГИС-технологии, в частности, web-ГИС решения, как наиболее перспективные для обработки распределённых данных, с помощью прототипа геоинформационной системы околоземного космического пространства (ГИС ОКП), предметной областью которой при первом приближении была выбрана Земля, как единое целое и пространство от верхней границы атмосферы до орбиты Луны со всеми находящимися там космическими объектами, рассматриваемыми в качестве трёхмерных, а не точечных объектов. Важно понимать, что ближайшее окружение Земли — сложная система с присущими ей внутренними взаимодействиями и структурой. Таким образом, ГИС ОКП отличается от классических геоинформационных систем своим объектовым составом и

решаемыми с её помощью задачами.

Целевое назначение геоинформационной системы околоземного пространства может быть как информационно-справочное (ограниченные функциональные возможности, решение образовательных и просветительских задач), так и управленческое (принятие решений о маневрировании спутников, оценка возможности проведения дистанционного зондирования участка земной поверхности и т.д.). По территориальному охвату ГИС ОКП следует классифицировать как глобальную в масштабах Земли, хотя она и не применяет цифровые карты масштаба 1:4 000 000 и мельче, а использует виртуальный цифровой глобус, на который в Российской Федерации отсутствуют требования к системе классификации, кодирования и цифрового описания картографической информации.

ГИС околоземного космического пространства необходима для решения ряда задач и оказания услуг, в том числе предоставляемых операторами и разработчиками космических аппаратов (КА), например:

моделирования движения спутников в ОКП в пределах прогнозного сценария;

контроля и учёта естественных и искусственных объектов;

отображения разнородных и исчерпывающих атрибутивных (включая сведения о форме и размерах) и позиционных данных, а также трёхмерных моделей рассматриваемых космических объектов (КО);

расчёта времени проведения съёмки участка земной поверхности спутником дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с заданными параметрами съёмочной аппаратуры с учётом текущей метеообстановки;

поддержки мероприятий кросс-калибровки целевой аппаратуры ДЗЗ;

оценки влияния параметров орбиты КА ДЗЗ на конечную продукцию;

хранения истории маневровой активности объектов на орбите;

хронологических исследований, в том числе для поиска архивных снимков заданной тер-

ритории;

планирования размещения новых объектов наземной космической инфраструктуры, включая станции слежения всех типов, оптические и радиотелескопы, космодромы, станции приёма данных ДЗЗ и т.д.;

координатно-временной привязки каталогизированных космических объектов по их изображениям на фоне звёздного неба;

выявления пересечения орбит КО и оценки риска их столкновения;

оценки возможности развёртывания группировки спутников на заданных орбитах и др.

Несмотря на то, что атрибутивные данные космических объектов менее подвержены изменениям с течением времени, очень часто они обрывочны и неактуальны. Для изучения всего многообразия тел в ближнем космосе необходимо иметь максимально полный набор сведений, формирующих описательный контекст постоянно эволюционирующей обстановки в ОКП. Особенно это касается сведений о форме объекта при отсутствии трёхмерных моделей исследуемых КО. Форма и размеры объектов могут быть использованы при моделировании условий слежения за ними и проектировании наземных и орбитальных средств слежения.

Закрытие ряда баз данных и сервисов привело к сокращению объёма доступной информации по данной тематике. В результате основным источником сведений об объектах в околоземном пространстве стала база данных (БД) The Union of Concerned Scientists (UCS – Союз Заинтересованных Учёных) [2]. Однако в ней представлены лишь сведения по действующим космическим аппаратам. Кроме того, объекты рассматриваются как точечные, так как не приводятся описательные сведения об их размерах и форме. Осложняет работу с ней и её оформление в табличном редакторе.

Очевидно, что необходимо формирование открытой геоинформационной среды контроля ОКП, объединяющей совокупность геопространственных данных, агрегирующей результаты деятельности участников ракетно-космической отрасли и обеспечивающей по-

строение объектно-ориентированных моделей КО в статике и динамике на основе платформы специализированной тематической web-ориентированной геоинформационной системы с доступом через геопортал. В свою очередь, стоит рассмотреть проект Европейского космического агентства (ЕКА) DISCOS для информационного наполнения системы, поскольку лишь совсем недавно он был обновлён и обзавёлся программным интерфейсом для извлечения хранимых в БД сведений.

### Развитие системы DISCOS

В 1987 г. Европейское космическое агентство утвердило состав Рабочей группы по космическому мусору. Уже в ноябре 1988 г. было подготовлено заключение о необходимости создания Европейской базы данных космических объектов. Система DISCOS разработана на базе программного обеспечения для управления реляционными базами данных компании ORACLE университетом Кента (Кентербери, Великобритания) в рамках годового контракта (с июня 1989 г.) с ЕКА и развёрнута в Европейском центре управления космическими полётами (ESOC) в качестве информационной системы общего назначения для решения задач по проблеме космического мусора [3].

Основной задачей каталога DISCOS (Database and Information System Characterizing Objects in Space), который следует расшифровывать как «база данных и информационная система для описания объектов в космосе», был сбор информации о космических аппаратах, разгонных блоках и КМ (запуск, история изменения параметров орбиты, масса, геометрические характеристики и функциональное назначение) для облегчения мониторинга состояния околоземного космического пространства и оценки рисков на орбите. В 1991 г. режим и уровень доступа для ограниченно числа пользователей системы был ещё не определён (клиенты ЕКА, государства-члены международных организаций, НАСА). Из-за ограниченных ресурсов на разработку системы дизайн интерфейса каталога DISCOS для

внешних пользователей не входил в контракт с университетом Кента [4]. К 1997 г. на основании контракта с испанской компанией GMV была разработана система публикаций и документации DISCOS (DISPAD), которая извлекала данные в соответствии с заданными критериями, заносила их в заранее составленные таблицы, отображала результаты на различных диаграммах и, наконец, объединяла полученную информацию в шаблонах документов LaTeX 2 [5]. Перенос системы DISCOS на операционную систему (ОС) Solaris завершился в 1999 г. С этого момента можно говорить о втором поколении базы данных и портала для доступа к нему.

К 2001 г. система обрела более современный облик: испанская компания GMV при поддержке немецкой компании «etamax space» доработала web-интерфейс и базу данных. DISCOS была обновлена с применением ядра системы управления базами данных (СУБД) Oracle 8i и сервера Oracle Internet Application Server 8i [6]. Система предоставляла web-интерфейс для доступа зарегистрированных пользователей к закрытой информации, а также свободного доступа пользователей сети Интернет к открытым, но ограниченным по объёму данным.

В объектной модели DISCOS второго поколения (до 2013 г.) использовались Международный идентификатор КОСПАР и Номер по каталогу Космического командования США USSPACECOM/NORAD для связывания объектов с соответствующими данными, включая орбитальные параметры, свойства объекта и информацию о его запуске на орбиту. Использование идентификаторов дополнительных таблиц каталога в качестве первичных идентификаторов в DISCOS представляло собой серьёзное функциональное ограничение, а именно: объект, отсутствующий в этих таблицах, не мог быть представлен в системе в том же виде. Пример этого — ступени ракет-носителей, которые не каталогизируются после схода с орбиты. DISCOS второго поколения хранила момент (эпоху) входа в атмосферу для

каждого объекта. События разрушения также записывались по каждому хранимому объекту. И хотя обычно требуется именно такой подход, это не позволяло моделировать события разрушений, в которых задействовано несколько объектов. Также для каждого объекта сохранялось только одно имя (название) в кодировке ASCII. Для заполнения записей, характеризующих запуски, использовались год и номер запуска из идентификатора КОСПАР. Запуски без этих значений не могли быть зарегистрированы; экспериментальные, неудачные и другие запуски без идентификаторов КОСПАР регистрировались отдельно. Ракеты-носители хранились в таблице с фиксированной структурой. Подобный вариант организации сведений позволял выполнять простые запросы, например, находить верхние ступени ракет-носителей в каталоге объектов.

Перенос системы на ОС Linux был завершён в 2009 г., что послужило основой для перехода к третьему поколению (в разработке с начала 2010-х годов, представлена в 2017 г.) проекта DISCOS в 2013 г., с функциональным разделением между серверной и интерфейсной частью СУБД, что соответствует современному техническому уровню [7]. Функциональная архитектура системы на тот момент включала серверную базу данных на базе ядра СУБД Oracle 10 и интерфейсный сервер (web-сервер Apache), расположенный в демилитаризованной зоне [7]. При реализации новой версии БД DISCOS использовались следующие технологии:

- web-интерфейс на базе фреймворка Liferay 6.1 и набора библиотек в соответствии со стандартом HTML5 и технологией AJAX;

- слой предметной области, состоящий из набора web-сервисов RESTful на основе спецификации API языка программирования Java JAX-RS 2.0 и слоя персистентности (структуры данных для сохранения всех предыдущих состояний и обращения к ним) на основе библиотеки Hibernate 3.0;

- развёртывание системы с использованием сервера Glassfish 3.1 [7].

В системе DISCOS третьего поколения был введён суррогатный ключ для объектов, запусков и связанных с ними ракет-носителей со ступенями [8] — это дополнительная автоматически сгенерированная служебная внутренняя метка (числовое поле с автоинкрементом) без связи с информационным содержанием БД, так как система не обращается к ней напрямую. При необходимости к выбранному объекту DISCOS могут быть добавлены внешние идентификаторы. К ним относятся: идентификатор КОСПАР, идентификатор USSPACECOM/NORAD и идентификатор ПАО «МАК Вымпел». Кроме того, сопоставление идентификаторов DISCOS ограничено временем. Диапазон дат (эпох) может быть назначен отображению (маппингу) идентификатора DISCOS ID во внешние идентификаторы. Данную возможность можно использовать, когда в результате столкновения на орбите происходит разрушение объектов.

Текущая версия системы DISCOS хранит абстрактные объекты, которые в отличие от объектов, на которые ссылаются идентификаторы DISCOS ID, не обязательно представляют собой космические объекты. Абстрактный объект — это тип или класс объектов произвольной формы с присущими только ему атрибутами, например, определённая модель спутника. Каждый объект DISCOS ссылается на абстрактный объект, экземпляром которого он является. В отличие от DISCOS второго поколения, это предотвращает несогласованность, возникающую из-за дублирования данных. Объекты DISCOS могут также иметь свойства, не зависящие от их абстрактного объекта. В новой версии DISCOS используются события разрушений и связи вида «многие ко многим» с соответствующими объектами. В модели данных DISCOS объекты, возникшие в результате разрушений, независимые. Чтобы определить исходный родительский объект, от которого происходит фрагмент, в таблице журнала траекторий и взаимосвязей есть ссылка на этот родительский объект. Часто бывает так, что объект известен под несколькими име-

нами: национальные и международные названия, переименования по ходу работы, закрытые индексы. В текущей версии DISCOS во всех таблицах используется стандарт Unicode. У объектов также могут быть дополнительные имена, включая оригинальные имена в других алфавитах.

На Интернет-портале DISCOSweb пользователю доступны следующие основные таблицы [9]:

таблица объектов «Objects» — 55 536 объектов, включая неидентифицированные, начиная с 4.10.1957 г.;

таблица разрушений «Fragmentations» — 558 случаев зарегистрированных разрушений;

таблица запусков «Launches» — 6004 запуска с января 1961 г.;

таблица космодромов «Launch Sites» — 41 стартовая площадка;

таблица ракет-носителей «Launch Vehicles» — 347 существующих ракет-носителей;

таблица ступеней ракет-носителей «Launch Vehicle Stages» — 654 зарегистрированных варианта ступеней ракет-носителей;

таблица двигателей ракет-носителей «Launch Vehicle Engines» — 834 записи о различных ракетных двигателях;

таблица исходных орбит «Initial Orbits» — 38 872 записи об исходных параметрах орбиты космических объектов;

таблица конечных орбит «Destination Orbits» — 6355 записей об конечных параметрах орбиты космических объектов.

В случае поиска объекта космического мусора сведения из таблиц «Launches», «Launch Vehicles» и «Launch Sites» будут описывать исходный (родительский) объект, от которого отделился исследуемый фрагмент, но только в том случае, если этот факт достоверно установлен. В случае поиска объекта, уже сошедшего с орбиты, пользователю дополнительно предоставляются сведения из полей «Re-entry ID» и «Re-entry Epoch». К сожалению, чтобы узнать исходные/конечные параметры орбиты, пользователю нужно отдельно обратиться к таблице «Initial Orbits» или «Destination Orbits».

Это же касается и поиска сведений о фактах разрушения космических объектов, хранимых в таблице «Fragmentations». Также пользователь может искать объекты и с помощью более сложных запросов, например, указывая массу спутника одним из вариантов: «<50», «>=100», «>50,<=100».

Отметим, что при частых запросах к системе, а именно: быстром перелистывании результатов поиска или запросах с разными условиями, наблюдается замедление работы портала, вплоть до появления сообщения о перегруженности DISCOSweb и необходимости ожидать результат поиска в течение нескольких минут. Кроме того, у многих объектов, представленных в базе, есть незаполненные поля. Наибольшие пробелы наблюдаются для объектов космического мусора. Помимо прочего, текстовые данные о форме космических объектов трудны для восприятия пользователем (отдельные варианты или их сочетания в виде строкового значения с числительными, например, куб + 2 панели), в некоторых случаях избыточны и дублируют друг друга (схожие геометрические категории), практически бесполезны без сведений об их ориентации (особенно в случае расчёта столкновений) и могут быть заменены диаметром описывающей сферы. Подобная узкоспециализированная информация на английском языке трудна для восприятия обычным пользователям, не имеющим достаточных компетенций в вопросах мониторинга и моделирования ОКП, а также устройства ракетно-космической техники, требует квалифицированного перевода и комментариев специалистов. Также нужно отметить часто встречающиеся факты неполных сведений в части стартовых комплексов, характеристик ракет и силовых установок, некоторых орбитальных параметров.

### Сравнительный анализ и интегральная оценка БД DISCOS

Ранее в работе [1] был выполнен анализ инструментальных средств, которые могут быть использованы при разработке ГИС околосем-

ного космического пространства. Сравнение библиотеки Cesium и интерфейса программирования приложений (API) Google Earth, а также Google Maps API проводилось по 15 характеристикам. В качестве основы данного программного комплекса для обработки пространственных данных и визуализации положения космических объектов была выбрана открытая графическая библиотека Cesium, использующая графический процессор и имеющая ряд преимуществ по сравнению с другими существующими инструментально-программными средствами для разработки web-ГИС.

Также следует обновить сравнительный анализ ранее доступных [1], но сейчас недоступных баз данных КО и сервисов моделирования движения антропогенных объектов в ближнем космосе с рассматриваемой в настоящей работе БД DISCOS. Исключим из рассмотрения швейцарский сервис Solenix и заменим его на ранее упомянутую базу данных действующих космических аппаратов UCS. Действующие сервисы SpaceBook и N2YO по-прежнему участвуют в анализе. Все программные решения, кроме БД DISCOS и БД UCS, используют для визуализации Google Earth API, Google Maps API и Cesium соответственно (табл. 1). С подробным описанием архивных проектов, а также с публичной демонстрационной версией web-сервиса SpaceBook можно ознакомиться в работе [1].

Для интегральной оценки эффективности представленных в табл. 1 решений воспользуемся формулой [10]

$$Q_s = \eta_n \times \eta_o \times \eta_{np}, \quad (1)$$

где  $\eta_n$  — свойство, характеризующее полноту данных;  $\eta_o$  — свойство, характеризующее обновление данных;  $\eta_{np}$  — свойство, характеризующее программную платформу, лежащую в основе базы данных или сервиса.

Как и в работе [1], будем считать влияние свойств равнозначным, тем самым исключая из формулы весовые коэффициенты. Для определения свойства «полнота данных», используем формулу [10]:

$$\eta_n = (\sigma_n - \sigma_\phi) / (\sigma_n + \sigma_\phi), \quad (2)$$

где  $\sigma_n$  — пороговое значение параметра, определяющее свойство полноты данных;  $\sigma_\phi$  — фактическое значение параметра, определяющее свойство полноты данных.

Из табл. 1 в расчёте этого свойства участвует 90 категорий данных. Наличие того или иного вида данных  $i$  описывается 1, а их отсутствие — 0. Таким образом, пороговое значение  $\sigma_n$  находится суммой всех возможных данных, которые могут быть представлены в системе или базе данных, и принимает значение, равное 90.

Для определения свойства «обновление данных»  $\eta_o$  также достаточно воспользоваться формулой (2). При этом пороговое значение параметра, определяющее свойство обновления данных, представленное в табл. 1, составляет 86 400 — максимальное время в секундах, необходимое для обновления данных в базе «What's Up». Фактическое значение этого параметра берётся для каждого объекта сравнения из поля «Частота обновления данных».

Для определения свойства «программная платформа»  $\eta_{np}$  используем формулу (2) и анализ инструментальных средств из работы [1]. В расчёте этого свойства участвует 15 категорий. В итоге  $\sigma_n$  для данного свойства принимает значение 15. БД DISCOS и UCS не имеют средств визуализации, обновления сведений о местоположении КО и могут выступать лишь как источники атрибутивных данных для ГИС ОКП. Поэтому, для исключения нулевого значения в итоговой интегральной оценке, предположим, что мы добавили функцию моделирования местоположения космических объектов с шагом в 1 с и отрисовкой трёхмерной сцены с помощью библиотеки Cesium к этим базам данных. Результаты расчётов представлены в табл. 2.

По итогам проведённой интегральной оценки очевидно, что база данных DISCOS значительно превосходит по информационному наполнению ранее выбранную как эталон базу данных UCS Союза Заинтересованных Учёных [1, 2]. Она содержит в себе сведения не только по действующим космическим ап-

Т а б л и ц а 1

**Сравнительный анализ баз данных КО и сервисов моделирования (по атрибутивным данным)**

Вид данных	База данных				Сервис		
	DISCOS	«What's Up» <sup>⊗</sup>	Analytical Graphics Inc. <sup>⊗</sup>	UCS	N2YO	SpaceBook	iSat <sup>⊗</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Общие сведения (в DISCOS представлены в таблице Objects)</b>							
Ключевое поле – идентификатор БД DISCOS <sup>0</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Имя космического объекта	+	+	+	+	+	+	+
Номер по каталогу USSPACECOM/NORAD	+	+	+	+	+	+	+
Международный идентификатор КОСПАР	+	+	+	+	+	–	–
Идентификатор ПАО «МАК Вымпел»	+	–	–	–	–	–	–
Класс космического объекта	+	+	+	–	–	+	–
Масса объекта <sup>1</sup> , кг	+	+	–	+	–	–	–
Форма объекта <sup>2</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Размер объекта <sup>3</sup> , м	+	+	–	–	–	–	–
Дата (эпоха) схода с орбиты	+	–	–	–	–	–	–
Эффективная площадь рассеяния <sup>4</sup> , м <sup>2</sup>	+	–	–	–	+	–	–
<b>Сведения о разрушении/столкновении (в DISCOS представлены в таблице Fragmentations)</b>							
Ключевое поле – номер события разрушения и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Дата (эпоха) события разрушения	+	–	–	–	–	–	–
Координата широты события разрушения	+	–	–	–	–	–	–
Координата долготы события разрушения	+	–	–	–	–	–	–
Высота события разрушения, км	+	–	–	–	–	–	–
Тип события и источника происхождения	+	–	–	–	–	–	–
<b>Сведения о запуске (в DISCOS представлены в таблице Launches)</b>							
Ключевое поле – номер запуска и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Дата (эпоха) запуска на орбиту	+	+	+	+	+	–	–
Номер запуска КОСПАР	+	–	–	–	–	–	–
Номер полёта	+	–	–	–	–	–	–
Успешность запуска	+	–	–	–	–	–	–
<b>Сведения о космодромах (в DISCOS представлены в таблице Launch Sites)</b>							
Ключевое поле – номер космодрома и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Название космодрома <sup>1</sup>	+	+	+	+	+	–	–
Пусковые площадки / стартовые комплексы	+	–	–	–	–	–	–
Азимуты на объекты комплекса	+	–	–	–	–	–	–
Сезонные ограничения по запуску	+	–	–	–	–	–	–
Координата широты космодрома	+	–	–	–	–	–	–
Координата долготы космодрома	+	–	–	–	–	–	–
Высота космодрома над уровнем моря, м	+	–	–	–	–	–	–
<b>Сведения о ракетах-носителях (в DISCOS представлены в таблице Launch Vehicles)</b>							
Ключевое поле – номер ракеты-носителя и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	–	–	–	–	–	–
Название ракеты-носителя <sup>1</sup>	+	+	–	+	–	–	–
Семейство ракет-носителей	+	–	–	–	–	–	–
Тяга, кН	+	–	–	–	–	–	–

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Высота ракетносителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Диаметр ракетносителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Количество ступеней	+	-	-	-	-	-	-
Масса полезной нагрузки на низкой околоземной орбите, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса полезной нагрузки на солнечно-синхронной орбите, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса полезной нагрузки на геопереходной орбите, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса полезной нагрузки на геостационарной орбите, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса полезной нагрузки на параболической (отлётной) траектории, кг	+	-	-	-	-	-	-
Количество неудачных запусков	+	-	-	-	-	-	-
Количество успешных запусков	+	-	-	-	-	-	-
<b>Сведения о ступенях ракет-носителей и разгонных блоках (в DISCOS представлены в таблице Launch Vehicle Stages)</b>							
Ключевое поле – номер разгонного блока / ступени ракеты-носителя и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	-	-	-	-	-	-
Название разгонного блока / ступени ракеты-носителя	+	-	-	-	-	-	-
Масса окислителя, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса жидкого топлива, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса твёрдого топлива, кг	+	-	-	-	-	-	-
Высота разгонного блока / ступени ракеты-носителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Диаметр разгонного блока / ступени ракеты-носителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Наибольший поперечный размер разгонного блока / ступени ракеты-носителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Сухая масса, кг	+	-	-	-	-	-	-
Масса при полной заправке, кг	+	-	-	-	-	-	-
Время работы двигателя, с	+	-	-	-	-	-	-
<b>Сведения о двигателях ракет-носителей (в DISCOS представлены в таблице Launch Vehicle Engines)</b>							
Ключевое поле – номер двигателя ракеты-носителя и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	-	-	-	-	-	-
Название двигателя ракеты-носителя	+	-	-	-	-	-	-
Тяга, кН	+	-	-	-	-	-	-
Максимальная удельная тяга, с	+	-	-	-	-	-	-
Высота двигателя ракеты-носителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Диаметр двигателя ракеты-носителя, м	+	-	-	-	-	-	-
Сухая масса, кг	+	-	-	-	-	-	-
<b>Сведения об орбитальных параметрах (в таблицах Initial Orbits и Destination Orbits БД DISCOS представлены сведения об исходных и конечных параметрах орбиты)</b>							
Ключевое поле – номер орбиты космического объекта и идентификатор таблицы <sup>0</sup>	+	-	-	-	-	-	-
Дата (эпоха) исходных орбитальных параметров	+	-	-	-	-	-	-
Дата (эпоха) конечных орбитальных параметров	+	-	-	-	-	-	-
Большая полуось <sup>5</sup> , км	+	-	-	-	+	-	-
Эксцентриситет орбиты <sup>5</sup>	+	-	-	-	+	-	-

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Наклонение орбиты <sup>5</sup> , угл. гр.	+	+	+	+	+	–	–
Прямое восхождение <sup>5</sup> , угл. гр.	+	–	–	–	+	–	–
Аргумент перигентра <sup>5</sup> , угл. гр.	+	–	–	–	–	–	–
Средняя аномалия <sup>5</sup> , угл. гр.	+	–	–	–	–	–	–
Система координат и отсчёта <sup>5,6</sup>	+	–	–	–	–	+	–
<b>Сведения о текущем местоположении и движении</b>							
Широта, угл. гр.	–	–	–	–	+	–	+
Долгота, угл. гр.	–	–	–	–	+	–	+
Высота над уровнем моря, км	–	–	–	–	+	–	+
Орбитальная скорость, км/с	–	–	–	–	+	–	+
Угол курса, угл. гр.	–	–	–	–	+	–	–
Угловая высота, угл. гр.	–	–	–	–	+	–	–
Склонение, угл. гр.	–	–	–	–	+	–	–
<b>Прочие данные</b>							
Перигей, км	–	+	+	+	+	–	–
Апогей, км	–	+	+	+	+	–	–
Период обращения КО, мин	–	+	+	+	+	–	–
Тип орбиты <sup>7</sup>	–	+	–	+	–	+	–
График изменения большой полуоси орбиты КО	–	+	–	–	–	–	–
Статус активности объекта	–	+	+	–	–	+	–
Страна-владелец	+	+	+	+	+	+	–
Компания-владелец	+	+	–	+	–	–	–
Предполагаемый срок службы <sup>1</sup> , лет	–	+	–	+	–	–	–
Эксплуатирующая организация <sup>1</sup>	+	+	–	+	–	–	–
Функциональное назначение <sup>1,8</sup>	–	+	+	+	–	+	–
Мощность силовой установки <sup>1</sup> , Вт	–	+	–	+	–	–	–
Страны, заключившие договор по запуску КО <sup>1</sup>	–	+	–	+	–	–	–
Организация-подрядчик, запускающая КО <sup>1</sup>	–	+	–	+	–	–	–
Потребители	–	+	–	+	–	–	–
Долгота местоположения на геостационарной орбите, угл. гр.	–	–	–	+	–	–	–
Источник орбитальных параметров	–	–	–	+	–	–	–
Прочие источники	–	–	–	+	–	–	–
Комментарии	–	+	–	+	+	–	+
Частота обновления данных <sup>9</sup> , с	–	86400	30	–	1	1	1
Средство визуализации	Нет	GE API +	GE API +	Нет	GM API +	Cesium	Cesium

Примечание:

+ – GE API; интерфейс программирования приложений Google Earth API; GM API; интерфейс программирования приложений Google Maps API; 0 – идентификаторы таблиц БД DISCOS не участвуют в сравнении и интегральной оценке;

1 – только для действующих космических аппаратов (кроме БД DISCOS); в БД «What's Up» приводились значения стартовой и сухой массы космических аппаратов, как и в БД UCS;

2 – приблизительная форма объекта в виде строкового значения;

3 – в БД «What's Up» только для КМ; в БД DISCOS – без привязки к классу объекта, дробные числовые значения длины, ширины и высоты;

4 – в БД DISCOS приводятся сведения о минимальной, максимальной и средней площади рассеяния, определённой радиолокационными средствами; сервис N2YO даёт лишь одно значение;

5 – в БД DISCOS эти данные, представленные в таблицах Initial Orbits и Destination Orbits, имеют одинаковые названия, описывая объекты в разные моменты времени;

6 – в сервисе SpaceBook приводятся сведения в общем: инерциальная или фиксированная система отсчёта;

7 – в БД UCS есть дополнительная обобщающая категория «Класс орбиты», в которую входит «Тип орбиты»; она содержит «круговые» и «эллиптические»;

8 – в БД UCS есть дополнительная категория атрибутивных данных «Функциональное назначение (детальное)»;

9 – в первую очередь, данных о местоположении;

⊗ – проект более не поддерживается.

Оценка эффективности баз данных КО и сервисов моделирования

Параметр	База данных				Сервис		
	DISCOS	«What's Up»	Analytical Graphics Inc.	UCS	N2YO	SpaceBook	iSat
Полнота данных $\eta_n$	0,593	0,169	0,078	0,169	0,132	0,047	0,04
Обновление данных $\eta_o$	0,999	0	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999
Эффективность платформы $\eta_{pp}$	0,765	0,2	0,2	0,765	0,25	0,765	0,765
Интегральная оценка $Q_s$	0,453	0	0,016	0,129	0,033	0,036	0,03

паратам, но и по другим классам объектов, включая сведения по ракетоносителям и их компонентам, запускам, космодромам и изменениям параметров орбит. Кроме того, её эффективному использованию способствует наличие у данного проекта Европейского космического агентства собственного API. Как текущие, так и перспективные решения на базе библиотеки Cesium характеризуются наибольшим значением свойства  $\eta_{pp}$ , так как данное средство имеет большой набор возможностей, необходимых при создании ГИС ОКП, включая работу с трёхмерной сценой и математический аппарат для обработки пространственных данных. Итоговая оценка эффективности, в случае выбора данного источника для наполнения ГИС ОКП, также превосходит ближайшего конкурента в 3,5 раза. Тем не менее, для авторов исследования решающее значение имеет тот факт, что система не имеет средств визуализации, а также не содержит сведений о текущем местоположении КО, а значит, может выступать лишь как один из источников атрибутивных данных для прототипа ГИС ОКП, поскольку содержит большое количество сведений об объектах ракетно-космической техники. При агрегировании данных в единой перспективной ГИС следует использовать все доступные источники, включая БД UCS, так как в ней в частности содержатся некоторые дополнительные параметры орбиты, а также сведения по целевому назначению и конечным потребителям производимой космическими системами продукции. Сведения о текущем местоположении должны формироваться с помощью одной или нескольких прогнозных моделей на основе доступных орбитальных параметров. Также необходимо предусмотреть

дополнительную таблицу с характеристиками целевой аппаратуры космических аппаратов, так как общедоступных баз данных подобного рода до сих пор нет [1].

### Заключение

Обоснована необходимость применения геоинформационных технологий в задачах контроля, учёта и моделирования состояния ближнего космоса, а также разработки ГИС околоземного космического пространства. Представлены результаты исследования основных этапов разработки и развития, особенности структуры и взаимодействия с базой данных Европейского космического агентства DISCOS и, по совместительству, с информационной системой посредством web-портала DISCOSweb. Поскольку база данных DISCOS не содержит сведений о местоположении космических объектов в околоземном космическом пространстве в нужный пользователю момент времени даже в табличном виде, по аналогии с БД The Union of Concerned Scientists, а, по сути, является web-каталогом обширной справочной информации, по результатам проведённой интегральной оценки разумным решением выглядит использование этих сведений в рамках перспективной единой агрегирующей web-ГИС околоземного космического пространства, объединяющей и согласующей разрозненные сведения из различных источников, включая рассмотренный проект ЕКА, об объектах, явлениях и событиях в ближнем космосе с целью получения новых данных и выявления неявных закономерностей. Во второй части данной статьи речь пойдёт об интерфейсе программирования приложений DISCOSweb API, а также о разработке

макета программного средства для получения и обработки данных ЕКА о космических объектах из БД DISCOS.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой геоэкологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина Виктору Геннадьевичу Аковецкому за идею написания данной работы. Работа выполнена в рамках Государственного задания 0708-2020-0001 Минобрнауки России.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов П.Ю. Разработка и исследование методики геоинформационного моделирования трёхмерных динамических сцен околоземного космического пространства: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МИИГАиК, 2019. 190 с.
2. Электронный ресурс: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>
3. Klinkrad H. DISCOS - ESA's database and information system characterising objects in space // *Advances in Space Research*. 1991. V. 11. № 12. P. 43–52. DOI: 10.1016/0273-1177(91)90541-Q.
4. Jehn R., Viñals-Larruga S., Klinkrad H. DISCOS – The European Space Debris Database. IAF-93-742, 44th IAF Congress, Graz, Austria, 16-22 October 1993.
5. Klinkrad H., Tejedor O., Viñals S. The DISCOS Space Data Publication System // *Proceedings of the 2nd European Conference on Space Debris*. 1997. V. 393. P. 367–373.
6. Hernández de La Torre C., Pina Caballero F., Sánchez Ortiz N., Sdunnus H., Klinkrad H. DISCOS database and Web interface // *Proceedings of the 3rd European Conference on Space Debris*. 2001. V. 473. P. 803–807.
7. Flohrer T., Lemmens S., Virgili B.B., Krag H., Klinkrad H., Parrilla E., Sanchez N., Oliveira J., Pina F. DISCOS - Current Status and Future Developments // *Proceedings of the 6th European Conference on Space Debris*. 2013. V. 723. P. 38–44.
8. McLean F., Lemmens S., Funke Q., Braun V. DISCOS 3: An improved data model for ESA's Database and Information System Characterising Objects in Space // *Proceedings of the 7th European Conference on Space Debris*. 2017. V. 7. Is. 1.
9. Электронный ресурс: <https://discosweb.esoc.esa.int/>
10. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. 272 с.

**Acknowledgements.** The authors express their gratitude to Viktor Gennadievich Akovetsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Geoecology of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), for the idea of writing this paper. The research was carried out within the state assignment 0708-2020-0001 of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

#### REFERENCES

1. Orlov P.Y. Development and research of the geo-information modeling technique of near-Earth space' three-dimensional dynamic scenes. PhD. Moscow: MIIGAiK, 2019: 190 p. [In Russian].
2. URL: <http://www.ucsusa.org/nuclear-weapons/space-weapons/satellite-database>
3. Klinkrad H. DISCOS - ESA's database and information system characterising objects in space. *Advances in Space Research*. 1991. 11 (12): 43–52. DOI: 10.1016/0273-1177(91)90541-Q.
4. Jehn R., Viñals-Larruga S., Klinkrad H. DISCOS – The European Space Debris Database. IAF-93-742. 44th IAF Congress. Graz, Austria. 16-22 October 1993.
5. Klinkrad H., Tejedor O., Viñals S. The DISCOS Space Data Publication System. *Proceedings of the 2nd European Conference on Space Debris*. 1997, 393: 367–373.
6. Hernández de La Torre C., Pina Caballero F., Sánchez Ortiz N., Sdunnus H., Klinkrad H. DISCOS database and Web interface. *Proceedings of the 3rd European Conference on Space Debris*. 2001, 473: 803–807.
7. Flohrer T., Lemmens S., Virgili B.B., Krag H., Klinkrad H., Parrilla E., Sanchez N., Oliveira J., Pina F. DISCOS - Current Status and Future Developments. *Proceedings of the 6th European Conference on Space Debris*. 2013, 723: 38–44.
8. McLean F., Lemmens S., Funke Q., Braun V. DISCOS 3: An improved data model for ESA's Database and Information System Characterising Objects in Space. *Proceedings of the 7th European Conference on Space Debris*. 2017, 7 (1).
9. URL: <https://discosweb.esoc.esa.int/>
10. Zhurkin I.G., Shaytura S.V. *Geoinformatsionnyye systemy*. Geographic information systems. Moscow: KUDITS-PRESS, 2009: 272 p. [In Russian].