

## ГЕОЛОГИЯ

УДК 528.87:528.88:551.435.8(470.313)

В. С. Антипов<sup>1</sup>, К. А. Волин<sup>2</sup>, Е. А. Журавлев<sup>1</sup>**ВЫЯВЛЕНИЕ КАРСТОВЫХ И СУФФОЗИОННО-КАРСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт космоаэрогеологических методов — филиал ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», Российская Федерация, 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 82

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

При дешифрировании материалов космических съемок в центральной части Восточно-Европейской платформы выявлены космогеологические признаки карстовых и суффозионно-карстовых процессов, формирующих ландшафтные неоднородности, обусловленные проявлениями открытого и покрытого карста. Для листов N-37-XVI, XXII по данным анализа космических снимков высокого разрешения составлена схема плотности распространения суффозионно-карстовых воронок покрытого карста (западин) и ареалы мест развития открытого карста. Работа выполнена в рамках космогеологического сопровождения ГДП-200. Библиогр. 14 назв. Ил. 5.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование, дешифрирование космических снимков, суффозионно-карстовые объекты, открытый карст, покрытый карст, дешифровочные признаки карста, центральная часть Восточно-Европейской платформы.

V. S. Antipov<sup>1</sup>, K. A. Volin<sup>2</sup>, E. A. Zhuravlev<sup>1</sup>

**IDENTIFICATION OF KARST AND KARST-SUFFUSION FEATURES ON SATELLITE IMAGERY IN THE CENTRAL PART OF EAST EUROPEAN PLATFORM**

<sup>1</sup> Research Institute of Remote Sensing Methods for Geology — Branch of Central Research Institute of Machine Building, 82, Pulkovskoe shosse, St. Petersburg, 196140, Russian Federation

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

Employing interpretative methods, data of satellite imagery that identifies features of karst and karst-suffusion objects have been revealed for the central part of the East European platform. Karst and karst-suffusion processes form the landscape nonuniformity due to the development of open and covered karst. The density of sinkhole distribution has been compiled for topographic sheets N-37-XVI, XXII. Suffusion-covered sinkholes and depression areas of open karst have been displayed according to the analysis of high-resolution satellite imagery. The work was performed as part of space-based geological research accompanying additional geomapping of topographic sheets N-37-XVI, XXII. Refs 14. Figs 5.

*Keywords:* remote sensing, satellite image interpretation, suffusion-karst, open karst, covered karst, karst interpretive features, central part of East European platform.

## Введение

На рассматриваемой территории одним из опасных геологических процессов является образование карста на площадях развития карбонатных пород. Опасность карста состоит в его латентном развитии в течение долгого времени, без видимых проявлений на поверхности Земли, однако образующиеся затем воронки, впадины, провалы иногда приводят к катастрофам.

Другим не менее распространенным геологическим процессом является суффозия. Суффозия связана с выносом вещества, поэтому в первую очередь она развивается в наиболее подверженных этому процессу пылеватых породах (лессах, алевролитах). Характерным является проседание лёссовых пород, в частности, в местах, где они подстилаются кавернозными закарстованными карбонатными породами [1], и тогда формируется покрытый тип карста. В отсутствие перекрывающих карбонатные породы отложений формируется открытый тип карста [2].

Данные о наличии карста в центральной части Восточно-Европейской платформы, в частности в Рязанской и Липецкой областях, в междуречье Дона и Оки, представлены в публикациях [2, 3]. Сведения о подверженности исследуемой территории суффозионным процессам рассмотрены в работе [4]. На геоморфологической схеме листа N-37-XVI обозначены места размещения карстовых воронок и блюдцеобразных западин (лёссовых блюдец) [5, 6], выраженных в рельефе и предположительно расположенных над покрытым карстом.

В южной части Московской синеклизы, где расположена площадь листов N-37-XVI и N-37-XXII, карстуются отложения позднедевонского — каменноугольного возрастов [3, 7, 8]. Карст образуется в верхнедевонских известняках и доломитах фаменского яруса, а также в карбонатных отложениях (примерно 80 % мощности) нижнего и среднего отделов каменноугольного периода. Перекрывающие их слои состоят из пластичных (глины ранне-, позднеюрские и миоценовые, четвертичные суглинки) и непрочных (пески, алевролиты возраста от верхней юры до плиоцена и четвертичные пески, алевролиты и супеси) пород. При образовании покрытого карста под воздействием гравитации и суффозии пески, алевролиты и глины могут проседать в образующиеся пустоты, что приводит к возникновению характерных форм рельефа — западин.

## Методические аспекты

В пределах территории листов N-37-XVI, XXII и на смежных площадях выделялись эталонные участки, на топографических картах которых обозначены карстовые объекты. Для выяснения характера отображения карстовых объектов выполнялся анализ материалов космических съемок (МКС). При этом использовались МКС среднего разрешения Landsat и МКС высокого разрешения, полученные с сервисов Yandex Maps, Google Earth, Bing Maps и др. На основе изучения эталонных и тестового участков выявлены дешифровочные признаки открытого и покрытого карста, составлена схема размещения отдешифрованных карстовых объектов для всей территории листов N-37-XVI, XXII.

Дешифрирование проводилось с использованием программы ArcGIS 10.1. Для анализа распространения суффозионно-карстовых объектов покрытого карста (западин) была составлена схема плотности их распространения. Расчет плотности выполнен со следующими параметрами: размер расчетной ячейки — 100 м, радиус поиска — 6 км, количество выделенных классов плотности — 15, метод классификации — Natural Breaks (Jenks).

### Изучение эталонных и тестового участков

Были изучены три эталонных участка. На одном из них (Фроловское) рассмотрен пример развития покрытого карста, на двух других (Дубки и Гаи) открытого карста. Участок покрытого карста расположен в 80 км к северо-востоку от площади изучаемых листов — на территории Окско-Цнинского вала, где карст известен [9]. Примеры открытого карста обнаружены непосредственно на площади листов N-37-XVI, XXII и сопредельной территории.

Дополнительно изучен тестовый участок Дашино, находящийся в пределах листа N-37-XXII, на геологических и топографических картах которого отсутствуют сведения о наличии карстовых объектов.

#### *Эталонные участки Гаи и Дубки (открытый карст).*

В качестве эталонных выбраны участки, где карст показан на детальных топографических картах и хорошо дешифрируется по берегам рек и на склонах оврагов практически на всех безоблачных космических снимках (КС) высокого разрешения.

*Эталонный участок Гаи* (рис. 1). Участок для выявления космогеологических признаков открытого карста находится на листе N-37-XXI, северо-восточнее населенного пункта Бегичево Липецкой области, в долине р. Дон, где открытый карст проявлен наиболее ярко на склонах ручьев и оврагов и не подвержен антропогенному воздействию. По данным геологической карты [10], на территории участка Гаи на поверхность выходят позднедевонские известняки и доломиты фаменского яруса, а также раннекаменноугольные известняки и гипсы озёрского и хованского горизонтов. На детальных топографических картах отмечены закарстованные места (рис. 1, а, в). На КС высокого разрешения (рис. 1, б, г) в этих местах карст хорошо дешифрируется и представляет собой площади, густо покрытые воронками размерами до 10–15 м в поперечнике. Текстура снимка при этом напоминает «гусиную кожу». Карстовые воронки имеют близкие размеры и группируются в карстовые поля. Закарстованные места расположены вдоль тальвега оврага и на склонах ручьев.

*Эталонный участок Дубки* расположен в юго-западной части листа N-37-XXII, на берегу р. Дон, недалеко от населенного пункта Дубки (рис. 2) в аналогичных с эталонным участком Гаи геологических и ландшафтных условиях [10, 11]. Отмеченные на топографических картах карстовые объекты (рис. 2, а, г) при дешифрировании на КС высокого разрешения имеют те же признаки, что и на эталонном участке Гаи. Карстовые поля выделяются своей характерной текстурой на космических снимках (рис. 2 б, д). На рис. 2 также представлена обзорная схема, где показано размещение обоих эталонных участков.

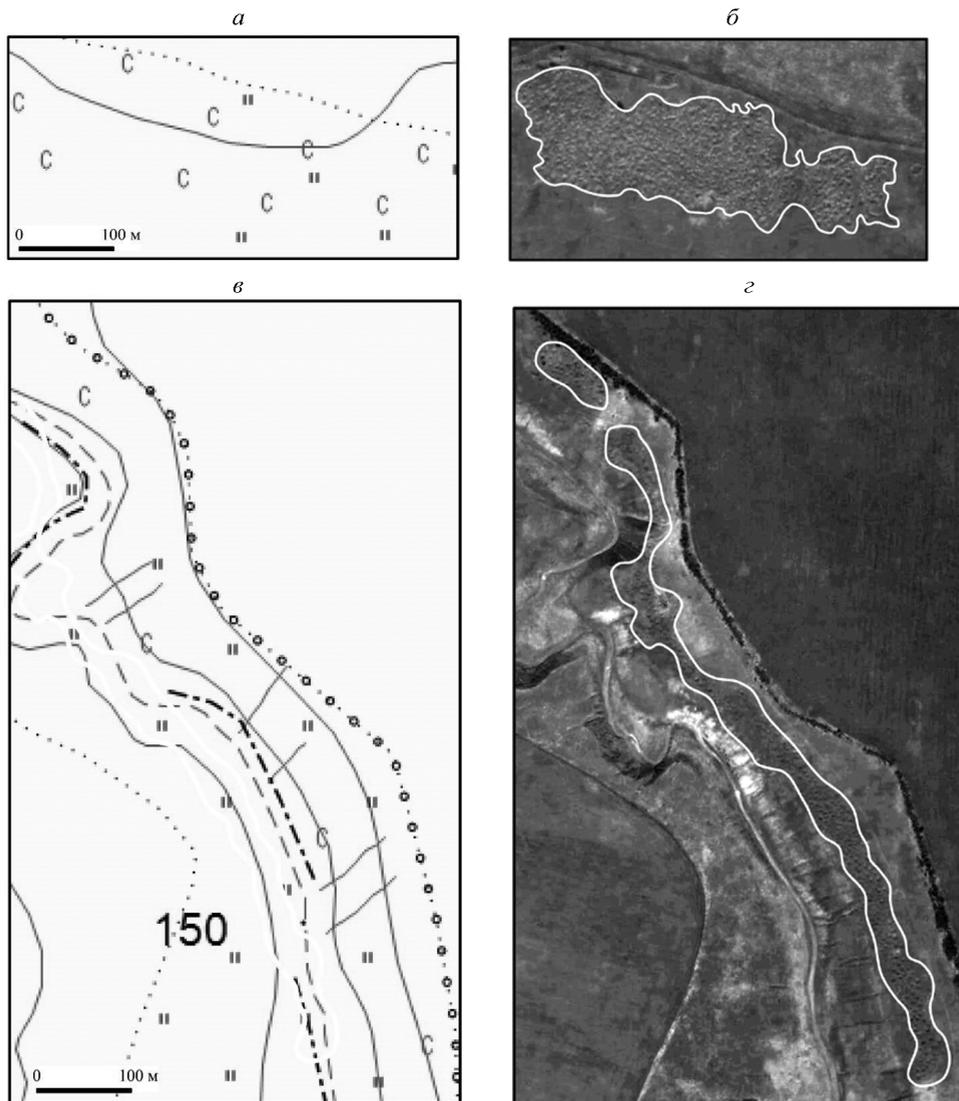


Рис. 1. Места развития открытого карста эталонного участка Гаи:

а, в — фрагменты детальных топографических карт. Карст обозначен условным знаком «С»; б, г — фрагменты космического снимка высокого разрешения сервиса Bing Maps. Белыми контурами отмечены области развития карста, отдешифрованные по КС и выделенные на топографических картах.

Таким образом, определены **дешифровочные признаки, типичные для открытого карста данной территории:**

- опознаваемый на КС высокого разрешения участок (карстовое поле) со специфической карстовой формой «гусиная кожа» с компактно расположенными углублениями (воронками) диаметром до 10–15 м в пределах карбонатных или иных карстующихся пород, выходящих на поверхность;

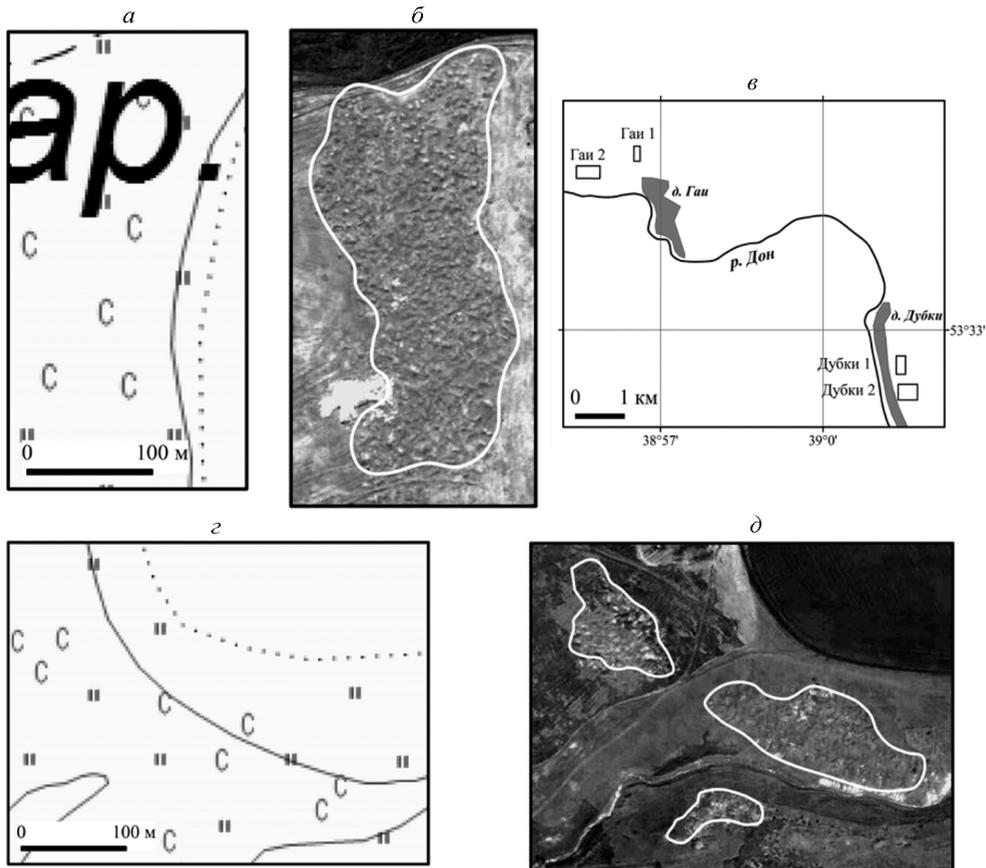


Рис. 2. Места развития открытого карста эталонного участка Дубки:

а, с — фрагменты детальных топографических карт. Карст обозначен условным знаком «С»; б, д — фрагменты космического снимка высокого разрешения сервиса Bing Mars. Белыми контурами отмечены места развития карста, отдешифрованные по космоснимкам и выделенные на топографических картах; е — обзорная схема размещения участков Дубки и Гаи.

- незначительные различия размеров воронок в пределах одного карстового поля;
- расположение карстовых полей на склонах долин рек и оврагов;
- вытянутость карстовых полей вдоль водотока.

#### **Эталонный участок Фроловское (покрытый карст).**

В качестве эталонного для покрытого типа карста были выбран участок Фроловское (рис. 3) [11]. В пределах Окско-Цнинского вала, где находится эталонный участок Фроловское, карстовые процессы хорошо известны и описаны в литературе [9]. Карст развит в средне- и позднекаменноугольных известняках и доломитах московского яруса в мячковском, каширском и подольском горизонтах [8, 10, 11]. Карстующийся мячковский горизонт перекрыт сначала верхнекаменноугольными глинами кривякинского горизонта, а потом четвертичными отложениями, в основном песками и суглинками. То есть карст, образовавшийся в мячковских известня-

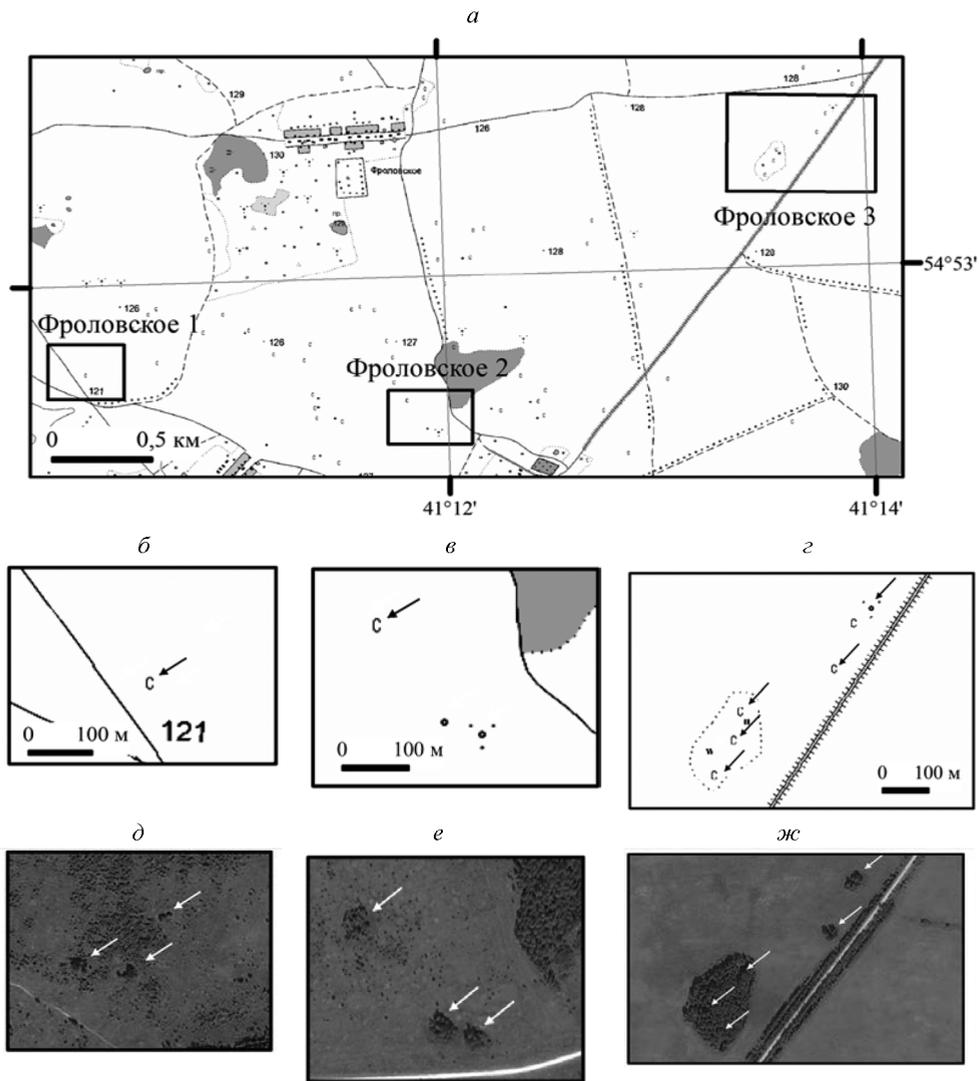


Рис 3. Карстовые воронки эталонного участка Фроловское:  
 а — обзорная карта; б–г — фрагменты детальной топографической карты; д–ж — космические снимки высокого разрешения сервиса Yandex Maps.

Стрелки указывают на карстовые объекты, показанные на топографической карте условным знаком «С» и/или опознанные на космических снимках.

ках, перекрыт непрочными (песками и алевритами) и пластичными (глинами и суглинками) породами, способными проседать в образующиеся пустоты. На поверхности при этом появляется характерного вида впадина, часто заполненная водой, растительностью. На этих основаниях карст отнесен к покрытому типу.

На эталонном участке Фроловское на топографической (рис. 3, б–г) и геологических картах четвертичных и дочетвертичных отложений масштаба 1:200 000 [5, 12, 13] показаны карстовые объекты. Для изучения характера прояв-

ления карста в районе деревни Фроловское использовались КС среднего и высокого разрешений. По данным КС среднего разрешения Landsat карстовые объекты видны только на незалесенной местности и если их размер больше 30 м в поперечнике, что обусловлено техническими характеристиками этих снимков. Хорошо различимыми оказались объекты на КС высокого разрешения, где карст проявляется в виде темных точек или пятен, отчетливо видимых на сельскохозяйственных полях (рис. 3, *д-ж*). Эти округлой формы пятна — понижения в рельефе, заросшие кустарником и деревьями. Размеры карстовых впадин (западин) колеблются в интервале 20–150 м в поперечнике и расположены, как правило, неупорядоченно.

***Тестовый участок Дашино (покрытый карст).***

Участок расположен в районе деревни Дашино, на юго-востоке листа N-37-XXII (рис. 4), и находится в сходных с эталонным участком Фроловское геолого-ландшафтных условиях. На участке по данным анализа МКС выявлены объекты, по дешифровочным признакам похожие на западины (объекты покрытого карста) эталонного участка Фроловское. В отличие от карстовых объектов участка Фроловское выделенные объекты участка Дашино на топографических и геологических картах не обозначены как карстовые воронки. В пределах этого тестового участка западины на космических снимках выделяются отчетливо и находят подтверждение на детальной топографической карте (рис. 4, *б, г*), являясь характерными для карста объектами (малые водоемы и углубления в рельефе).

По данным [14], район, где расположен тестовый участок, подвержен суффозионным процессам с образованием западин, так что с большой долей вероятности можно сказать, что выделенные объекты (рис. 4, *в, д*) являются западинами. Скорее всего, они имеют карстово-суффозионное (гибридное) происхождение, так как на этой же территории карстующиеся известняки позднедевонского — раннекаменноугольного возраста перекрыты маломощными (менее 50 м) глинами и песками плиоценового — четвертичного возраста. Карстовые объекты (западины) хорошо различимы на КС высокого разрешения и отчасти на КС среднего разрешения Landsat.

Суффозионно-карстовые воронки участков Фроловское и Дашино геоморфологически представляют округлые локальные углубления (западины), которые выделяются на МКС высокого разрешения (см. рис. 3, *д-ж*; рис. 4, *в, д*). Их размеры обычно варьируют от небольших (15 м), нередко достигая в поперечнике 150 м и более. Помимо интенсивности суффозионного и карстового процессов размер воронок определяется следующими факторами: типами перекрывающих пород, интенсивностью водообменных процессов, антропогенной деятельностью. Западины часто находят свое отражение на топографических картах в виде небольших озер или заболоченных участков. Западины, расположенные на полях, как правило, зарастают кустарниками или деревьями и в связи с этим хорошо видны на космических снимках. Западины, расположенные в лесах, на снимках из космоса видны хуже или вообще не видны.

По результатам дешифрирования в пределах эталонного участка Фроловское и тестового участка Дашино можно назвать ***дешифровочные признаки суффозионно-карстовых воронок (западин) покрытого карста:***

- объект округлой формы, контрастный по спектральным характеристикам МКС, фиксирующий углубление в рельефе (западину) в области развития подстилающих карбонатных или иных карстующихся пород;

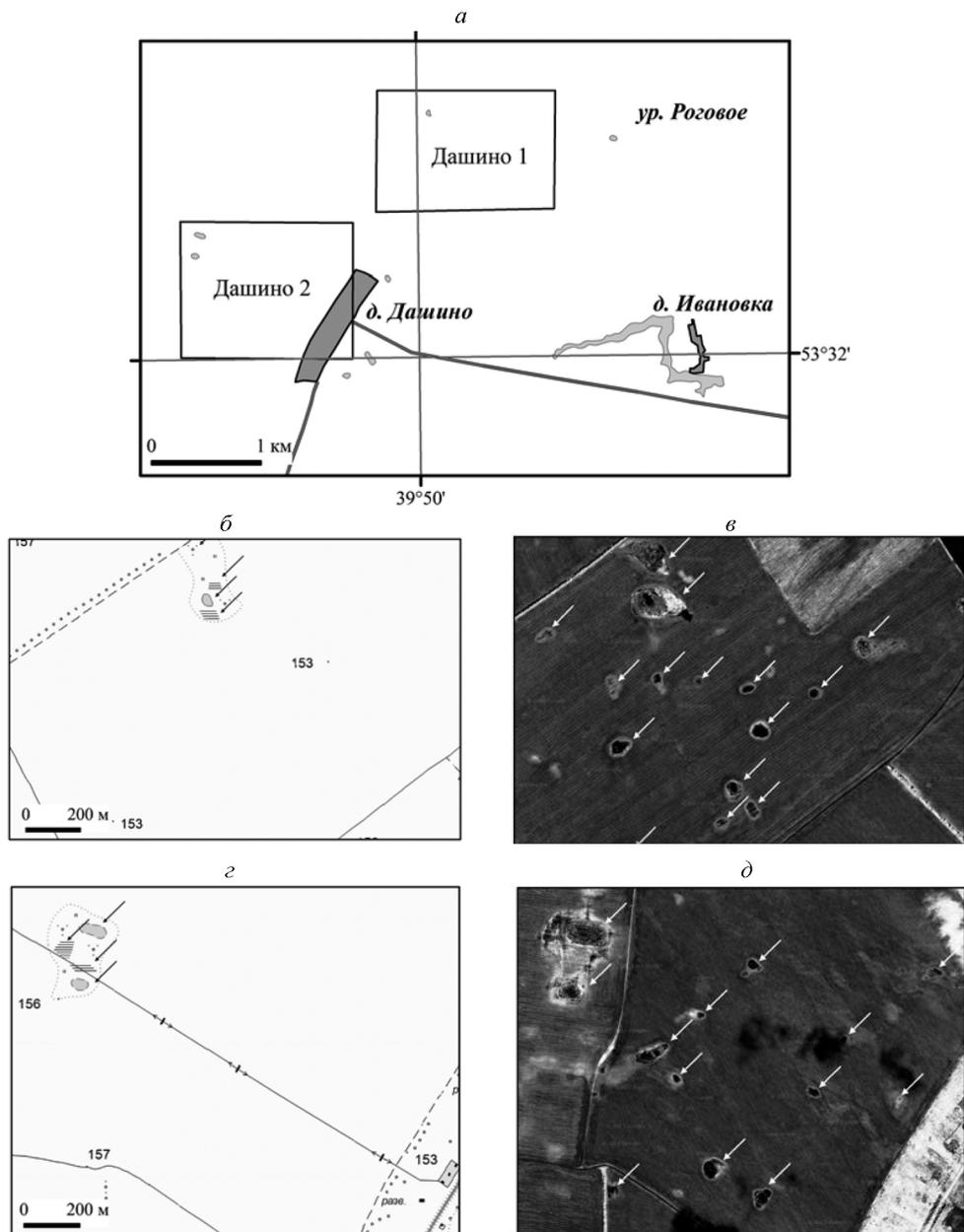


Рис. 4. Карстовые воронки тестового участка Дашино:  
 а — обзорная схема; б, в — фрагменты детальной топографической карты; г, д — космические снимки высокого разрешения сервиса Google Earth.

Стрелки указывают на западины (суффозионно-карстовые воронки), опознанные на космических снимках и не обозначенные на топографических картах в качестве объектов карста.

- неупорядоченное расположение нескольких расположенных рядом западин;
- размер западины от 15 до 150 м в поперечнике (в среднем 50–70 м).

*Дополнительными дешифровочными признаками покрытого карста* (с привлечением топографических данных) являются:

- углубление в рельефе и/или мелкий водоем, болотце округлой формы;
- наличие деревьев и/или кустарников в западине, расположенной на поле;
- объект с признаками западин, не совпадающий с местами расположения известных опор ЛЭП и других техногенных объектов.

#### *Результаты дешифрирования листов N-37-XVI, XXII.*

С использованием космогеологических признаков покрытого и открытого карста были выделены карстовые объекты на листах N-37-XVI, XXII. Из-за высокой степени антропогенной освоенности площади этих листов возникают сложности с дешифрированием объектов покрытого карста (западин). На МКС похожими на западины выглядят буровые площадки, опоры ЛЭП, технические колодцы и водотоки. Однако в отличие от западин упомянутые объекты часто располагаются с определенной периодичностью и образуют упорядоченные формы, в ряде случаев они показаны на топографических картах. Сопоставление МКС с топографическими картами позволяет не относить антропогенные объекты к проявлениям карста и суффозии. При дешифрировании открытого карста подобных сложностей не возникает, так как открытый карст имеет легко узнаваемую ячеистую текстуру («гусиная кожа»), не создаваемую антропогенным воздействием.

В результате дешифрирования получена схема размещения предполагаемых суффозионно-карстовых объектов (западин) и ареалов мест развития открытого карста для этих листов (рис. 5). Было выделено около 6 500 суффозионно-карстовых объектов и более 150 объектов открытого карста. Для этих объектов, чтобы сделать их заметными на рисунке, были построены 250-метровые буферные зоны и обрисованы ареалы мест открытого карста.

*Открытый карст* распространен преимущественно по береговым склонам рек Дон (юго-запад листа N-37-XXII) и Проня (северо-восток листа N-37-XXII и юг листа N-37-XVI), а также их притоков и оврагов, где благодаря эрозии обнажаются известняки позднедевонского (р. Дон и притоки) — ранне-, среднекаменноугольного возрастов (р. Проня и притоки). Здесь открытый карст связан с эрозией речных берегов, что обуславливает основную сложность при его выделении, так как оползневые процессы могут разрушать карстовые поля, расположенные по склонам водотоков.

*Покрытый карст* (суффозионно-карстовые воронки) развит практически повсеместно. По данным расчета плотности проявления покрытого карста выявлены две крупные области его интенсивного распространения. Первая расположена в восточной части листа N-37-XXII, вторая — в северо-западной части того же листа.

## Выводы

1. Установлено, что на МКС среднего разрешения Landsat 4, 5, 7, 8 карстовые объекты видны только на незалесенной местности и если их размер больше 30 м в поперечнике.

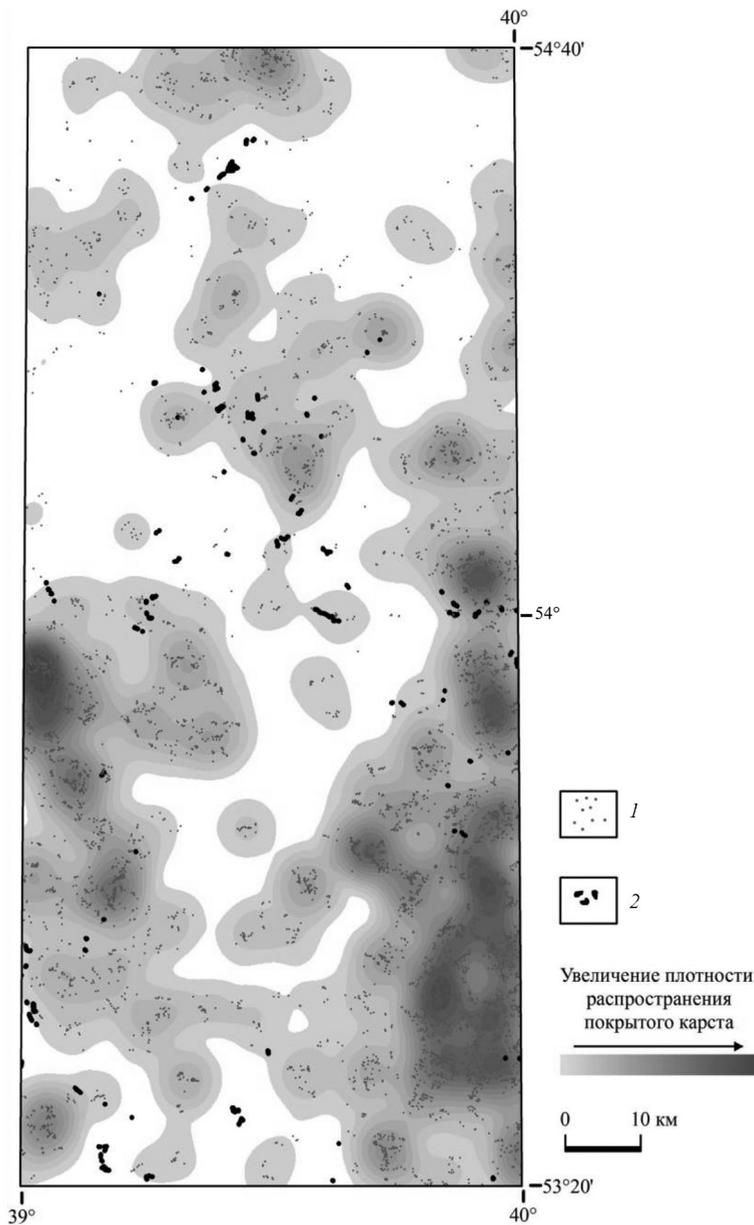


Рис. 5. Плотность распространения объектов покрытого карста и ареалы открытого карста по МКС на листах N-37-XVI, XXII:

1 — суффозионно-карстовые объекты покрытого карста (западины);  
 2 — ареалы открытого карста.

2. Наибольшая эффективность выделения карстовых объектов на территории работ возможна при использовании МКС высокого разрешения (WorldView-1, 2, QuickBird, GeoEye-1 и др.), позволяющих выделить не только крупные, но и слабо проявленные на поверхности карстовые объекты.

3. В процессе работы при дешифрировании тестового и эталонных участков установлены дешифровочные признаки открытого и покрытого карста. Эти признаки позволяют с высокой степенью достоверности выявлять данные разновидности карста.

4. Создана схема распространения открытого и покрытого карста для территории листов N-37-XVI, XXII. По результатам статистической обработки наиболее подвержены воздействию процессов покрытого карста восточная и северо-западная части листа N-37-XXII.

5. Применение МКС высокого разрешения позволяет оперативно и с минимальными затратами проводить на больших территориях центральной части Восточно-Европейской платформы выявление мест развития открытого карста и суффозионно-карстовых объектов (западин) покрытого карста. Выявленные дешифровочные признаки карста могут быть использованы на других аналогичных территориях.

## Литература

1. *Ананьев В. П., Потапов А. Д.* Инженерная геология. М.: Высшая школа, 2005. 575 с.
2. Экзогенные геологические опасности. Тематический том / под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. М.: Издательская фирма «КРЮК», 2002. 348 с.
3. *Гвоздецкий Н. А.* Карст. М.: Мысль, 1981. 214 с.
4. *Кочеткова Ю. О.* Оценка рельефа территории Рязанской области с точки зрения комфортности проживания посредством кластерного анализа // Актуальные проблемы естественных наук: материалы международной заочной научно-практической конференции (26 октября 2011 г.). Новосибирск: Изд. «Априори», 2011. 138 с.
5. *Аполлонова И. П., Маудина М. И., Жернаков Б. П.* Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-XVI / ред. С. М. Шик. Госгеотехиздат, 1961.
6. Объяснительная записка. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Московская. Лист N-37-XVI / Государственный геологический комитет СССР. Геологическое управление центральных районов. М.: Изд-во «Недра», 1964. 95 с.
7. Геологическая карта четвертичных отложений Рязанской области. Масштаб 1:500 000 / ред. С. М. Шик. М.: МПР РФ. Центральный региональный геологический центр, 1998.
8. Геологическая карта четвертичных отложений Рязанской области. Масштаб 1:500 000 / ред. В. В. Дашевский. М.: МПР РФ. Центральный региональный геологический центр, 1998.
9. *Шустов Б. С.* Карстовые явления в Рязанской и Липецкой областях // Региональное карстование. М.: Наука, 1960. С. 31–33.
10. Карта дочетвертичных образований: Геологическая карта дочетвертичных отложений Тульской области. Масштаб: 1:500 000. Серия: Геологические карты областей Центрального федерального округа РФ / ред. Е. А. Гаврюшова, В. В. Дашевский. М.: МПР РФ. Центральный региональный геологический центр, 1998.
11. Карта дочетвертичных образований: Геологическая карта дочетвертичных отложений Липецкой области, масштаб: 1:500 000. Серия: Геологические карты областей Центрального федерального округа РФ / ред. Е. А. Гаврюшова, В. В. Дашевский. М.: МПР РФ. Центральный региональный геологический центр, 1998.
12. Карта четвертичных отложений: N-37-XVI. Геологическая карта СССР. Четвертичные отложения. Серия Московская. Масштаб 1:200 000 / ред. С. М. Шик. М.: Геологическое управление Центральных районов, 1961.
13. *Урусбиева Ф. И., Коготкова В. Н.* Геологическая карта СССР. Масштаб 1:200 000. Лист N-37-XXII. Изд. 1. Л.: ВСЕГЕИ, 1963.
14. *Шишов С. И.* География и почвенно-геохимические особенности урочищ, западин в пределах Рязанской области // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина. 2010. № 3 (28). С. 116–129.

Для цитирования: Антипов В. С., Волин К. А., Журавлев Е. А. Выявление карстовых и суффозионно-карстовых объектов по материалам космических съемок в центральной части Восточно-Европейской платформы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 4–16. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.401

## References

1. Anan'ev V.P., Potapov A.D. *Inzhenernaia geologiia* [Engineering geology]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 2005. 575 p. (In Russian)
2. *Ekzogennye geologicheskie opasnosti. Tematicheskii tom* [Exogenous geological hazards]. Eds V.M. Kutepov, A.I. Sheko. Moscow, KRUK Publ., 2002. 348 p. (In Russian)
3. Gvozdet'skii N.A. *Karst* [Karst]. Moscow, Mysl' Publ., 1981. 214 p. (In Russian)
4. Kochetkova Iu.O. Otsenka reliefa territorii Riazanskoï oblasti s točki zreniia komfortnosti prozhivaniia posredstvom klaster'nogo analiza [Terrain Territory Rank of Ryazan region in Terms of the Comfort of Living by Means of Cluster Analysis]. *Aktual'nye problemy estestvennykh nauk: materialy mezhdunarodnoi zaочноi nauchno-prakticheskoi konferentsii (26 oktiabria 2011 g.)* [Actual problems of natural sciences: proceedings of the international correspondence scientific-practical conference (26 October 2011)]. Novosibirsk, Apriori Publ., 2011. 138 p. (In Russian)
5. Apollonova I.P., Maudina M.I., Zhernakov B.P. *Geologicheskaiia karta SSSR mashtaba 1:200 000. Seriiia Moskovskaia. List N-37-XVI* [The geological map of the USSR, scale 1: 200 000. A series of Moscow. Sheet N-37-XVI]. Ed. by S.M. Shik. Gosgeotekhizdat Publ., 1961. (In Russian)
6. *Ob'iasnitel'naia zapiska. Geologicheskaiia karta SSSR mashtaba 1:200 000. Seriiia Moskovskaia. List N-37-XVI* [Explanatory note. The geological map of the USSR, scale 1:200 000. A series of Moscow. Sheet N-37-XVI]. Gosudarstvennyi geologicheskii komitet SSSR. Geologicheskoe upravlenie tsentral'nykh raionov [State Geological Committee of the USSR. Geological Control of the Central Areas. Geological Control of the Central Areas]. Moscow, Nedra Publ., 1964. 95 p. (In Russian)
7. *Geologicheskaiia karta chetvertichnykh otlozhenii Riazanskoï oblasti. Masshtab 1:500 000* [Geological Map of Quaternary Deposits of the Ryazan Region]. Ed. by S.M. Shik. Moscow, MPR RF. Tsentral'nyi regional'nyi geologicheskii tsentr [Central Regional Geological Center], 1998. (In Russian)
8. *Geologicheskaiia karta dochetvertichnykh otlozhenii Riazanskoï oblasti. Masshtab 1:500 000* [Geological Map of Pre-Quaternary Deposits of the Ryazan Region. Scale 1:500 000]. Ed. by V.V. Dashevskii. Moscow, MPR RF. Tsentral'nyi regional'nyi geologicheskii tsentr [Central Regional Geological Center], 1998. (In Russian)
9. Shustov B.S. Karstovye iavleniia v Riazanskoï i Lipetskoï oblastiakh [Karst Phenomena in the Ryazan and Lipetsk Region]. *Regional'noe karstovedenie* [Regional Karst Review]. Moscow, Nauka Publ., 1960, pp. 31–33. (In Russian)
10. *Karta dochetvertichnykh obrazovaniï: Geologicheskaiia karta dochetvertichnykh otlozhenii Tul'skoï oblasti. Masshtab: 1:500 000. Seriiia: Geologicheskie karty oblastei Tsentral'nogo federal'nogo okruga RF* [Map of pre-Quaternary formations: Geological map of pre-Quaternary sediments of Tula region. Scale 1:500 000. Series: geological map areas of the Central Federal District of Russia]. Eds E. A. Gavriushov, V.V. Dashevskii. Moscow, MPR RF. Tsentral'nyi regional'nyi geologicheskii tsentr [Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. Central Regional Geological Center], 1998. (In Russian)
11. *Karta dochetvertichnykh obrazovaniï: Geologicheskaiia karta dochetvertichnykh otlozhenii Lipetskoï oblasti, masshtab: 1:500 000. Seriiia: Geologicheskie karty oblastei Tsentral'nogo federal'nogo okruga RF* [Map of pre-Quaternary formations: Geological map of pre-Quaternary sediments of the Lipetsk region. Scale 1:500 000. Series: Geological Map within Areas of the Central Federal District of the Russian Federation]. Eds E. A. Gavriushov, V.V. Dashevskii. Moscow, MPR RF. Tsentral'nyi regional'nyi geologicheskii tsentr [MNR Central Regional Geological Center], 1998. (In Russian)
12. *Karta chetvertichnykh otlozhenii: N-37-XVI. Geologicheskaiia karta SSSR. Chetvertichnye otlozheniia. Seriiia Moskovskaia. Masshtab 1:200 000* [Map of Quaternary sediments. The geological map of the USSR. Quaternary Sediments. Moscow Series. Scale 1:200 000]. Ed. by S.M. Shik. Moscow, Geologicheskoe upravlenie Tsentral'nykh raionov [Geological Control of the Central Areas], 1961. (In Russian)
13. Urusbieva F.I., Kogotkova V.N. *Geologicheskaiia karta SSSR. Masshtab 1:200 000. List N-37-XXII. Izd. 1* [Geological Map of the USSR. Scale 1:200 000. Sheet N-37-XXII. First Edition]. Leningrad, VSEGEI Publ., 1963. (In Russian)
14. Shishov S.I. *Geografiia i pochvenno-geokhimicheskie osobennosti urochishch, zapadin v predelakh Riazanskoï oblasti* [Geography and soil-geochemical features of Stows, Depressions within the Ryazan

Region]. *Vestnik Riazanskogo gosudarstvennogo universiteta im. S. A. Esenina* [Bulletin of the S. A. Esenin Ryazan State University], 2010, no. 3 (28), pp. 116–129. (In Russian)

**For citation:** Antipov V. S., Volin K. A., Zhuravlev E. A. Identification of karst and karst-suffosion features on satellite imagery in the central part of East European platform. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 4, pp. 4–16. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.401

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

**Контактная информация:**

*Антипов Вадим Сергеевич* — доктор геолого-минералогических наук; vniikam@mail.ru

*Волин Кирилл Артемович* — старший преподаватель; k.volin@spbu.ru

*Журавлев Евгений Александрович* — ведущий научный сотрудник; zhev@bk.ru

*Antipov Vadim S.* — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; vniikam@mail.ru

*Volin Kirill A.* — Senior Lecturer; k.volin@spbu.ru

*Zhuravlev Evgenii A.* — Leading Researcher; zhev@bk.ru