

## Отражение позиции кимберлитовых тел в материалах интерпретации космофотоснимков с использованием метода ГЕОНОМ

Разработанный автором метод ГЕОНОМ, использованный при интерпретации космофотоснимков, позволил выделить аномалии цветовых оттенков, к которым приурочены почти все известные трубки взрыва Зимнебережного района Архангельской области и большая их часть на исследованных участках Якутии, Карелии и Кольского полуострова. Метод основан на удалении (полном или частичном) с изображения на космофотоснимке влияния на него теней от топографического рельефа, а также облаков и снежных покровов. Реализован метод в виде специальной компьютерной программы ГЕОНОМ. Суть метода заключается в выделении на космофотоснимках аномалий цветовых оттенков, пространственно сопряжённых с искомыми объектами. Результаты применения метода представляются в виде карты аномалий цветовых оттенков, которые, вероятно, фиксируют проявления действия неотектонических, гидрогеологических и других факторов, обуславливающих специфическую расцветку участков ландшафта возле трубок взрыва. Несмотря на дискуссионность геологической и ландшафтной природы аномалий цветовых оттенков, выделяемых с применением метода ГЕОНОМ, их пространственная взаимосвязь с трубками взрыва весьма реальна. Акцентирование работ по поиску новых трубок взрыва на участках локальных магнитных аномалий, пространственно связанных с такими аномалиями цветовых оттенков, вероятно, может существенно повысить их эффективность.

*Ключевые слова:* космофотоснимок, интерпретация, метод ГЕОНОМ, аномалии цветовых оттенков, поиск, трубки взрыва.

АЛЕКСАНДРОВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ, главный геофизик, [geonomy@mail.ru](mailto:geonomy@mail.ru)

ООО «Алмазы Заполярья», г. Москва

## Reflection of kimberlite position on materials of satellite image interpretation using the GEONOM techniques

S. P. ALEKSANDROV

ООО "Almazy Zapolyar'ya", Moscow

The GEONOM technique developed by the author for interpretation of satellite images has made it possible to distinguish anomalies of color shades, to which almost all known explosion pipes of the Zimneberezhny region in the Arkhangelsk Region, as well as most of such structures in the studied areas of Yakutia, Karelia, and the Kola Peninsula, are spatially confined. The technique is based on removal (complete or partial) of the influence of topographic relief shadows, clouds, and snow covers from a satellite image. It is implemented as the special computer program GEONOM. The essence of the technique consists in distinguishing anomalies of color shades in satellite images, that are spatially related to the prospecting targets. Results obtained using the technique are represented as a map of the anomalies of color shades. Such anomalies may fix manifestations of neotectonic, hydrogeological, and other factors that cause the specific coloring of landscapes near the explosion pipes. In spite of that the geological and landscape nature of the anomalies of color shades, distinguished using the GEONOM technique, is discussable, their spatial relationship to the explosion pipes is very real. Focusing of prospection works for new explosion pipes in areas of local magnetic anomalies, spatially associated with such anomalies of color shades, can significantly increase their effectiveness.

*Key words:* satellite image, interpretation, GEONOM technique, anomalies of color shades, prospection, explosion pipes.

**Введение.** Существует множество методов интерпретации космофотоснимков и способов их обработки. В разное время предпринимались попытки их использования для решения задач, связанных с поисками коренных месторождений алмазов (кимберлитовых трубок взрыва), в том числе на территории Зимнебережного района Архангельской области. Но по результатам интерпретации космофотоснимков здесь не было обнаружено ни одного кимберлитового тела.

В то же время практически стали безрезультатными и поиски трубок взрыва только по данным магниторазведки. Почти все интенсивные магнитные аномалии трубочного типа уже заверены бурением. Предпринимаемые в последние годы попытки ранжирования по перспективности слабоинтенсивных магнитных аномалий оказываются безуспешными. Применение геохимических, шлихоминералогических и других методов поисков в ряде регионов из-за мощной перекрывающей толщи осадочных пород положительных результатов не даёт [4, 5, 7, 9, 10]. Поэтому разработка новых методов получения дополнительной поисковой информации представляется наиболее важной задачей.

**Описание метода ГЕОНОМ.** Метод обработки космофотоснимков (КФС) под названием ГЕОНОМ был разработан автором ещё в 1998 г. в целях более надёжного выделения цветовых структур ландшафта [1, 2]. Первоначально он был опробован и использован для решения задач, касающихся прогноза нефтегазовых залежей [1]. Для интерпретации КФС применительно к прогнозу и поискам коренных источников алмазов метод используется впервые.

Метод ГЕОНОМ основан на удалении (полном или частичном) с изображения на космофотоснимке влияния на него теней от топографического рельефа, а также облаков и снежных покровов. Реализован в виде специальной компьютерной программы ГЕОНОМ. Суть метода заключается в выделении на КФС аномалий цветовых оттенков (АЦО), пространственно сопряжённых с искомыми объектами (в данном случае с кимберлитовыми трубками). Для этого выполняются нижеперечисленные операции.

Первоначально изображение на КФС формата .jrg преобразуется в гриды закодированных в этом формате цветовых характеристик с последующим вычислением значений условно оцифрованных цветовых оттенков без учёта их яркости. Например, на снимке светло-зелёный и темно-зелёный цвета считаются единым зелёным цветом. То же самое и с другими цветами. Соответственно, например, участок леса с тенью от облаков будет иметь значения условно оцифрованных цветовых оттенков такие же, как участок леса без тени.

Далее вычисленные значения представляются в виде грида в условной системе координат снимка, которые затем заменяются на реальные географические. Полученный грид преобразуется в текстовый файл  $x, y, z$ , в котором географические координаты пересчитываются в прямоугольные координаты Гаусса-Крюгера в нужной зоне. Текстовый файл посредством крайгинга преобразуется в грид, на базе которого строится карта аномалий цветовых оттенков.

Для каждого исследуемого участка визуально выбирается свой интервал цветовых оттенков, АЦО в котором при их минимально возможных размерах наилучшим образом фиксируют участки, к которым явно пространственно приурочены все известные на этом участке трубки взрыва. Далее в выбранных цветовых диапазонах строятся карты АЦО [1]. В настоящей работе по КФС-1 и КФС-2 созданы соответственно карты АЦО-1 и АЦО-2.

Из космофотоснимков, сделанных в разное время, необходимо выбирать такие, на которых АЦО, пространственно связанные с кимберлитовыми трубками взрыва, наиболее контрастно и локально проявлены. У автора выбор был ограничен КФС-1 и КФС-2, имеющимися в SASPlanet. Для получения результатов, представленных в статье, использованы космофотоснимки из общедоступного приложения SASPlanet с разрешением (по масштабной шкале SASPlanet) 13 (КФС-1) и 14 (КФС-2), расстоянием между пикселями не более 25 м в пределах заданных географических координат WGS84 изучаемых участков. Судя по явно различающемуся виду, КФС-1 и КФС-2 получены в существенно разное время.

**Позиция кимберлитовых тел в материалах интерпретации КФС с использованием метода ГЕОНОМ.** Пример аномалий цветовых оттенков КФС-1 (АЦО-1) на участках Зимнего берега, Терского берега и Карелии приведён на рис. 1. Здесь хорошо видно, что все трубки взрыва (обозначены звёздочкой) так или иначе пространственно приурочены к АЦО-1.

Для участка Зимнего берега (см. рис. 1, А), суммарная площадь АЦО-1 которого составляет около 12% от общей площади, вероятность того, что все показанные здесь восемь трубок взрыва случайно совпали с АЦО-1, не превышает 1%. Если вычислить вероятности случайного совпадения для других (см. рис. 1, Б, В) участков, то для одиночного Кимозёрского тела Карелии она составит около 20%, Ермаковских трубок взрыва – менее 10%. Однако если вычислить вероятность случайного совпадения сразу для всех трёх участков, то она, как и для одного участка Зимнего берега, не будет превышать 1%. При этом, разумеется, такая малая вероятность случайного совпадения АЦО с трубками взрыва не означает, что все другие АЦО также будут связаны

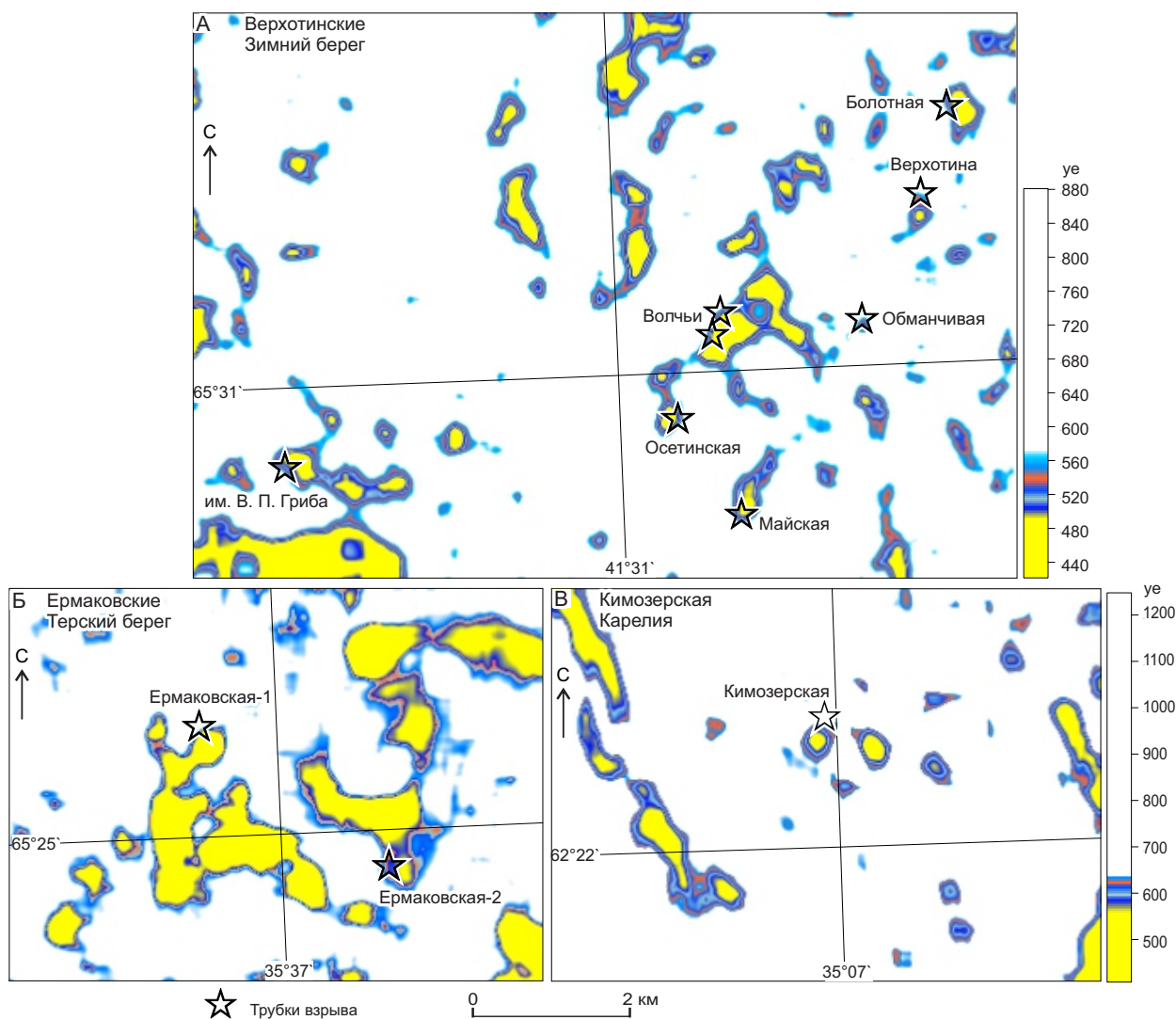


Рис. 1. Аномалии цветовых оттенков КФС-1 (АЦО-1) на участках Зимнего берега, Терского берега и Карелии

с ними. Скорее всего, можно предположить, что если не вскрытые ещё трубки взрыва на участке исследований есть, то они с большой вероятностью будут приурочены к АЦО, подобным АЦО, пространственно связанным с уже известными трубками взрыва. Следует обратить внимание, что трубки взрыва на рис. 1 приурочены к краевым частям АЦО-1, акцентированным сине-розовым цветом. Поскольку суммарная площадь краёв АЦО намного меньше, чем площадь всех АЦО-1 полностью, вероятность случайного совпадения трубок взрыва именно с краевыми частями АЦО будет ещё меньше.

АЦО-1 на рис. 2 заметно превышают по размерам АЦО-1 на рис. 1. Тем не менее большая часть трубок взрыва здесь, как и на рис. 1, тяготеет также к краям аномалий. А поскольку суммарная площадь

этих краёв (акцентированных сине-розовым цветом) не превышает 15% от площади участков, вероятность случайной приуроченности к ним достаточно большого количества трубок взрыва соответственно невелика. Исследования показали, что почти все остальные трубки взрыва Зимнего берега также приурочены к АЦО-1.

Таким образом, можно предположить, что установленная приуроченность трубок взрыва к краям АЦО-1 является неслучайной и, учитывая это, можно повысить эффективность поиска новых трубок взрыва за счёт преимущественного выбора для заверки бурением локальных магнитных аномалий, приуроченных к краям АЦО-1.

Как показывают шкалы условно оцифрованных цветовых оттенков на рисунках, цветовые диапазоны



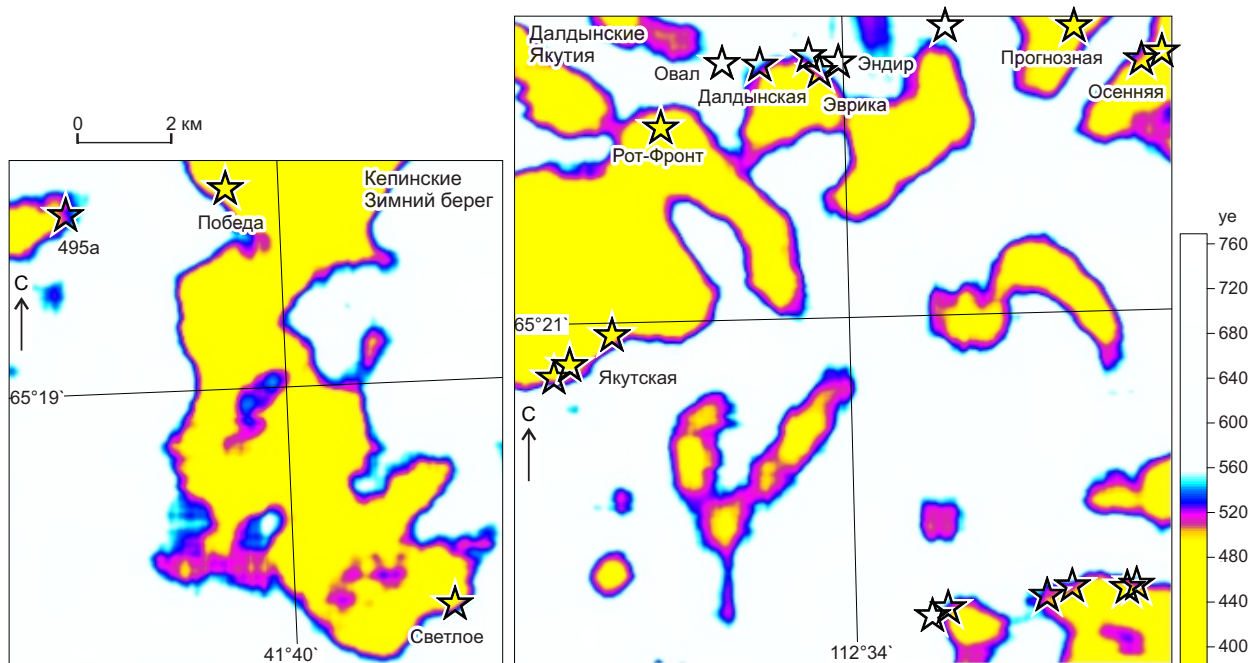


Рис. 2. Аномалии цветových оттенков КФС-1 (АЦО-1) на участках Зимнего берега и Якутии

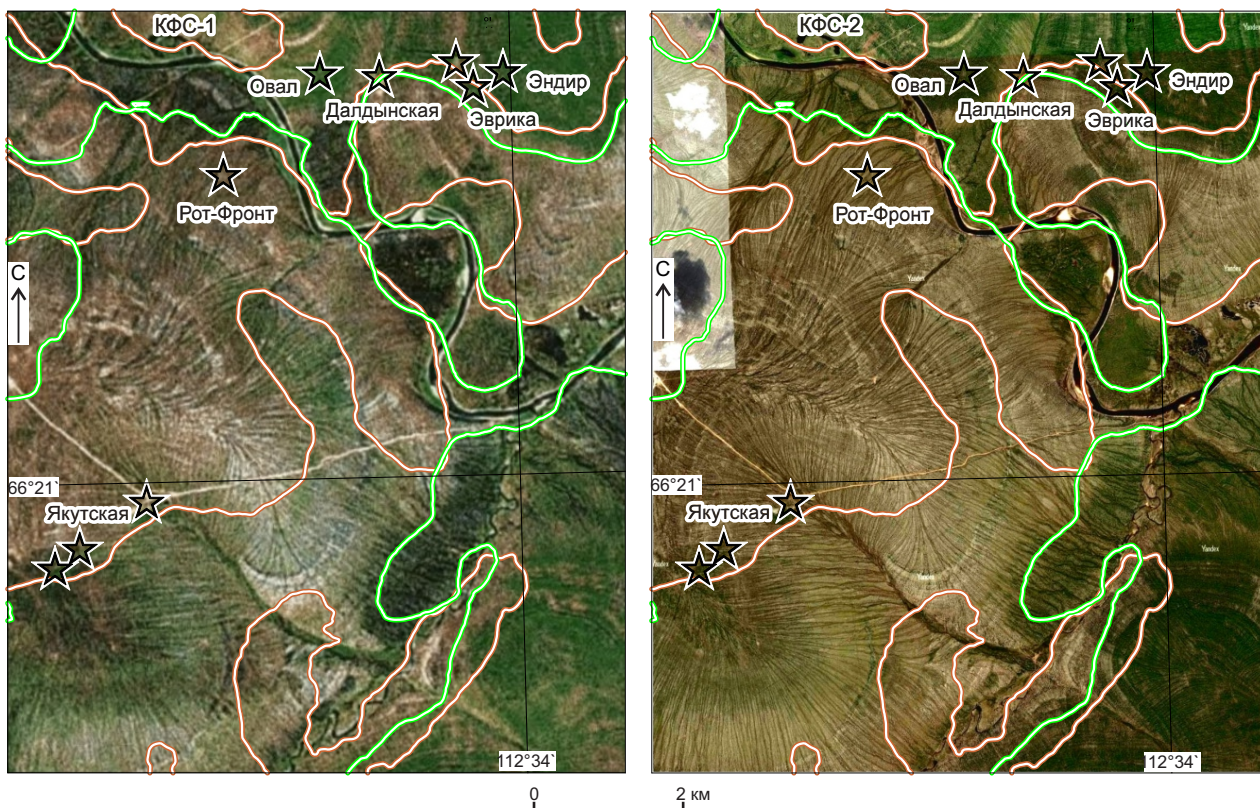


Рис. 3. Верхотинские трубки взрыва, КФС-1, КФС-2, контуры АЦО-1 (коричневые) и АЦО-2 (зелёные)



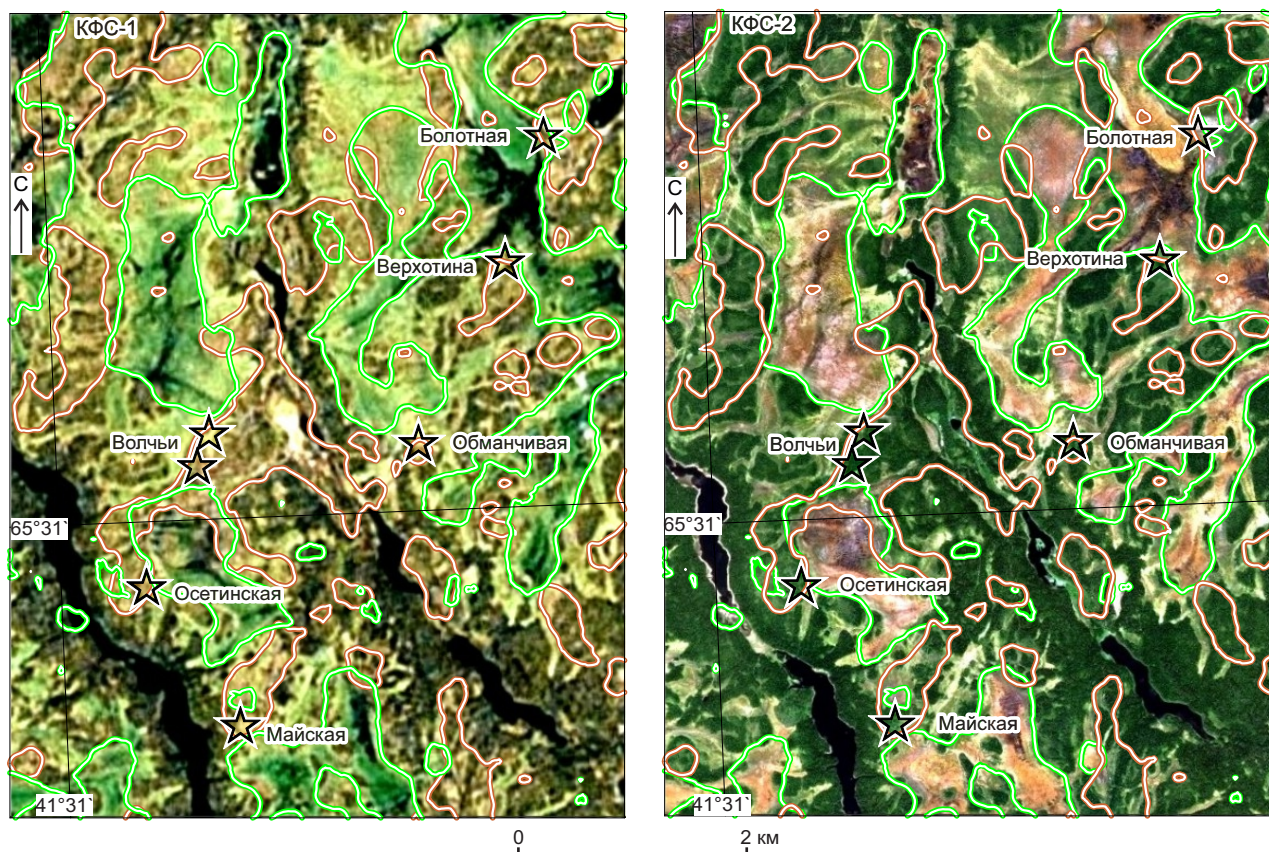


Рис. 4. Далдыньские трубки взрыва, КФС-1, КФС-2, контуры АЦО-1 (коричневые) и АЦО-2 (зелёные)

АЦО-1 Зимнего берега, Карелии, Терского берега и Якутии (см. рисунки 1 и 2) несколько различаются, что вполне объяснимо, поскольку указанные площади расположены в пределах разных съёмочных сцен, в существенно различающихся ландшафтных обстановках и др.

Однако данное обстоятельство не умаляет поисковой значимости этих аномалий и говорит лишь о том, что для выявления поисково-значимых АЦО на других участках их цветовые диапазоны следует выбирать индивидуально, ориентируясь на уже известные трубки взрыва, или при отсутствии последних так, чтобы они обеспечивали наиболее контрастное выделение АЦО, расположение и облик которых максимально соответствуют существующим геологическим представлениям о формировании и размещении ожидаемых трубок взрыва.

Природа факторов, участвующих в создании АЦО, может быть самой разнообразной.

Связь трубок взрыва с особенностями современного рельефа подробно рассмотрена И. Б. Антоновой (1986) на основе результатов дешифрирования аэро-

фотоснимков [4]. «Из девяти выделяемых ею признаков нахождения трубок взрыва четыре можно отнести к геоморфологическим (в т. ч. и геоботанические), а остальные – к структурно-тектоническим. Это следующие признаки: 1) гипсометрический – выражается в понижении местности по контуру кольцевой структуры, поверхности же внутри и вне её остаются примерно одновысотными; 2) гидрографические: а) реки и ручьи, как правило, обтекают контур тела, создавая характерный рисунок фотоизображения; б) замкнутые и разомкнутые кольцевые контуры на территории болот подчёркиваются определёнными типами или ассоциациями болотных растений; 3) геоботанический – связан с закономерным распределением лесного покрова, который часто подчёркивает контуры трубчатого тела. Наблюдается либо сгущение лесной растительности с внешней стороны по периметру тела, либо разреженность леса внутри его контура. Возможно полное отсутствие лесного покрова в пределах неширокой полосы по периметру кольцевой структуры» [4].



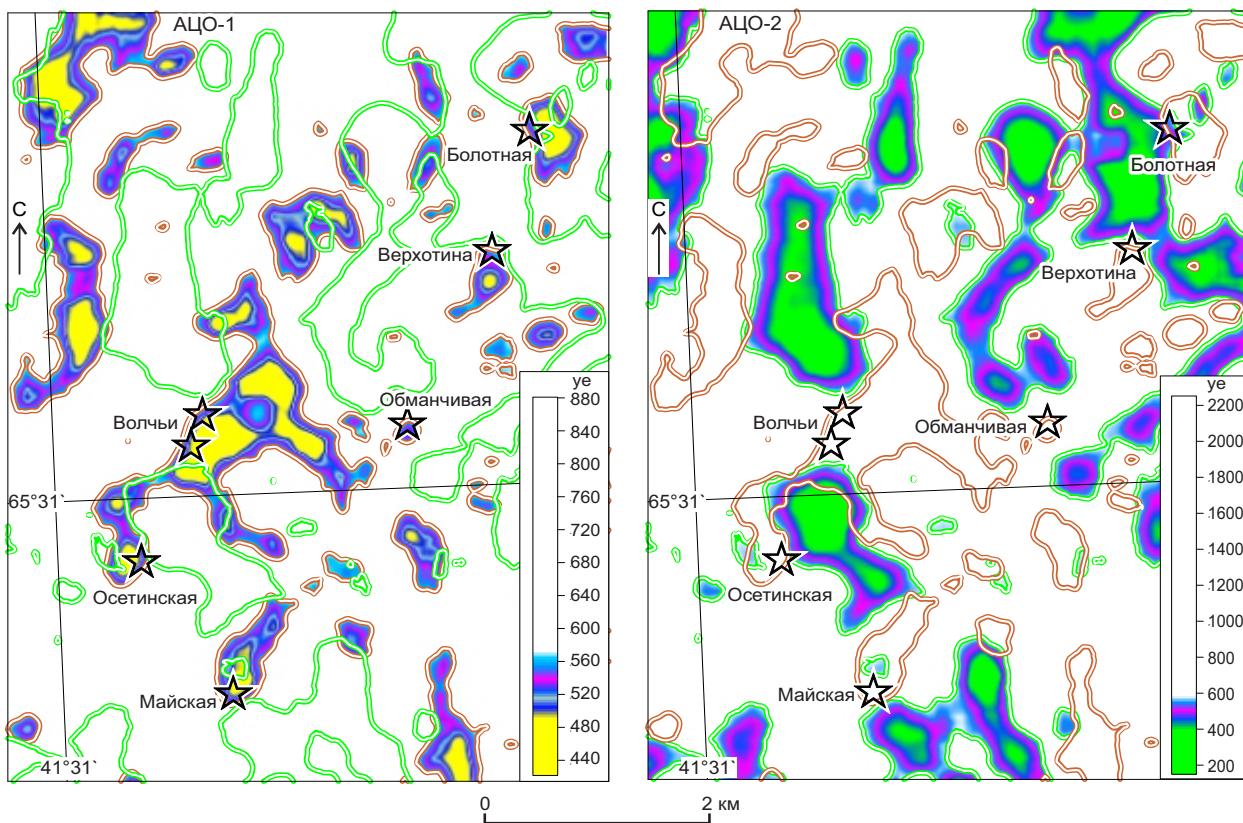


Рис. 5. Верхотинские трубки взрыва, АЦО-1, АЦО-2, контуры АЦО-1 (коричневые) и АЦО-2 (зелёные)

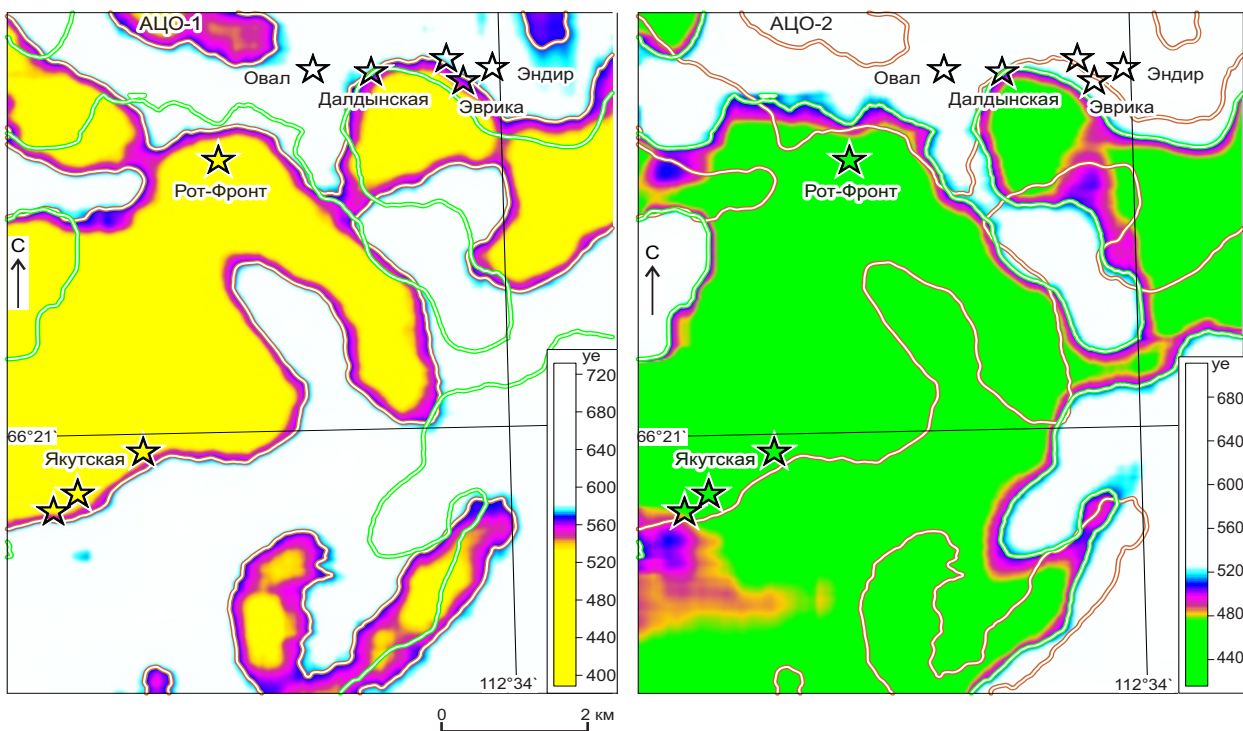


Рис. 6. Далдынские трубки взрыва, АЦО-1, АЦО-2, контуры АЦО-1 (коричневые) и АЦО-2 (зелёные)

Установленные И. Б. Антоновой признаки наличия трубок взрыва, вероятно, являются проявлением действия факторов (неотектонических, гидрогеологических и др.), которые в том числе обуславливают и специфическую расцветку участков ландшафта возле трубок взрыва, фиксируемых методом ГЕОНОМ в виде АЦО.

Участки АЦО на исходных космофотоснимках иногда отчётливо выделяются по их расцветке (рисунки 3, 4). При этом другие участки на этих же КФС, визуальнo выделяющиеся на них точно так же, могут не фиксироваться АЦО. И в то же время АЦО могут фиксировать участки, визуальнo ничем на этих же КФС не выделяющиеся. Например, на рисунках 3 и 4 заметно, что некоторые участки на КФС в пределах показанных контуров АЦО визуальнo выделяются по своей окраске, некоторые – не выделяются никак. Для того чтобы акцентировать это, КФС представлены с увеличенной с применением Corel Photo-Paint контрастностью (только для рисунков, но не для вычислений АЦО).

Поскольку природа выявленных АЦО неясна, можно ожидать, что, используя космофотоснимки, сделанные в другое время года, в других условиях и иными методами съёмки и формирования снимков, получим данные, отличающиеся от представленных на рисунках 1 и 2. Это предположение подтверждается результатом выделения АЦО на КФС, показанных на рисунках 3 и 4.

Как видно на рисунках 5 и 6, АЦО-1 и АЦО-2 заметно различаются как по структуре, так и по размерам. К краям АЦО-2 приурочено меньше трубок взрыва, чем к краям АЦО-1, т. е. поисковая значимость АЦО-2 более низкая.

На рис. 3 видно, что на КФС-1 и КФС-2 ландшафт имеет как бы взаимно инвертированную раскраску. Так, участки ландшафта на КФС-1 с зелёными оттенками на КФС-2 имеют коричневые оттенки, и, наоборот, участки ландшафта на КФС-1 с коричневыми оттенками на КФС-2 становятся зелёными. На рис. 4, если хорошо присмотреться, трубки взрыва Якутская и две соседние с ней расположены на границе, разделяющей участки ландшафта КФС-1 с зелёными (с юга) и коричневыми (с севера) оттенками. На КФС-2 эта граница не видна.

Конечно, было бы интересно проследить изменение раскраски ландшафта в динамике на этих участках. Но у автора такой возможности нет, и остаётся только предположить, что существуют некие геолого-ландшафтные факторы [1–4], неоднородно и «плавающе» меняющие его раскраску за счёт изменения погодных, сезонных и иных внешних, а также, возможно, подповерхностных процессов, в том числе обусловленных влиянием трубок взрыва.

**Заключение.** На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что, несмотря на дискуссионность геологической и ландшафтной природы АЦО, выделяемых с применением метода ГЕОНОМ, их пространственная взаимосвязь с трубками взрыва весьма реальна.

Поэтому акцентирование работ по поиску новых трубок взрыва на участках локальных магнитных аномалий, пространственно связанных с АЦО, вероятно, может существенно повысить их эффективность.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров С. П. Использование технологий ГЕОНОМ для исследования космофотоснимков применительно к решению прогнозно-поисковых задач в нефтегазовых провинциях // Программа и тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе». – М. : Нефть и газ, 2009. – С. 46–47.
2. Берлянт А. М. Образ пространства: карта и информация. – М. : Мысль, 1986. – 240 с.
3. Ишмухаметова В. Т. Прогнозирование коренных месторождений алмазов на севере Сибирской платформы на основе дешифрирования материалов космической съёмки : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Ишмухаметова Венера Тальгатовна. – М., 2016. – 140 с.
4. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щёлочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. – Архангельск : Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 2004. – 283 с.
5. Мальцев М. В., Толстов А. В., Бережнев И. И. Условия локализации и критерии поисков кимберлитов (на примере Ыгыаттинского алмазоносного района, Западная Якутия) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2018. – № 6. – С. 41–49.
6. Милашев В. А. Трубки взрыва. – Л. [СПб.] : Недра, 1984. – 268 с.
7. Основы литогеохимических, гидрогеохимических и биогеохимических методов поисков кимберлитов. – 2020. – URL: <https://industrial-wood.ru/geohimicheskie-metody-poiska-mestorozhdeniy/17121-osnovy-litogeo-himicheskikh-gidrogeohimicheskikh-i-biogeohimicheskikh-metodov-poiskov-kimberlitov.html> (дата обращения: 17.05.2022).
8. Серокуров Ю. Н., Калмыков В. Д., Зуев В. М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. – М. : Недра, 2001. – 198 с.
9. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.

10. *Sobolev N. V., Tomilenko A. A., Kuz'min D. V., Logvinova A. M., Bul'bak T. A., Fedorova E. N., Nikolenko E. I., Reutskii V. N., Sobolev A. V., Batanova V. G., Grakhanov S. A., Kostrovitskii S. I., Yakovlev D. A., Anastasenkov G. F., Tolstov A. V.* Prospects of search for diamondiferous kimberlites in the northeastern Siberian platform // *Russian Geology and Geophysics*. – 2018. – V. 59, № 10. – P. 1365–1379.

## REFERENCES

- Aleksandrov S. P.* Ispol'zovanie tekhnologii GEONOM dlya issledovaniya kosmofotosnimkov primenitel'no k resheniyu prognozno-poiskovykh zadach v neftegazonnykh provintsiyakh [The use of GEON technologies for the study of satellite images in relation to the solution of predictive and prospecting tasks in oil and gas provinces], *Programma i tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Aerokosmicheskie tekhnologii v neftegazovom komplekse"* [Program and abstracts of the International Scientific and Technical Conference "Aerospace technologies in the oil and gas complex"], Moscow, *Neft' i gaz Publ.*, 2009. pp. 46–47. (In Russ.).
- Berlyant A. M.* *Obraz prostranstva: karta i informatsiya* [Image of space: map and information], Moscow, *Mysl' Publ.*, 1986, 240 p. (In Russ.).
- Ishmukhametova V. T.* *Prognozirovaniye korennykh mestorozhdenii almazov na severe Sibirskoi platformy na osnove deshifirovaniya materialov kosmicheskoi s'emki* [Forecasting of the indigenous diamond deposits in the north of the Siberian Platform based on the interpretation of space survey materials: Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, 2016, 140 p. (In Russ.).
- Kutinov Yu. G., Chistova Z. B.* *Ierarkhicheskii ryad proyavlenii shchelochno-ul'traosnovnogo magmatizma Arkhangel'skoi almazonosnoi provintsii. Ikh otrazhenie v geologo-geofizicheskikh materialakh* [Hierarchical series of manifestations of alkaline-ultrabasic magmatism of the Arkhangel'sk diamond-bearing province. Their reflection in geological and geophysical materials], Arkhangel'sk, Institut ekologicheskikh problem Severa UrO RAN Publ., 2004, 283 p. (In Russ.).
- Mal'tsev M. V., Tolstov A. V., Berezhnev I. I.* *Usloviya lokalizatsii i kriterii poiskov kimberlitov (na primere Ygyattinskogo almazonosnogo raiona, Zapadnaya Yakutiya)* [Localization conditions and search criteria for kimberlites (on the example of the Ygyatta diamond-bearing region, Western Yakutia)], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 2018, No. 6, pp. 41–49. (In Russ.).
- Milashev V. A.* *Trubki vzryva* [Explosion tubes], Leningrad, *Nedra Publ.*, 1984, 268 p. (In Russ.).
- Osnovy litogeokhimicheskikh, gidrogeokhimicheskikh i biogeokhimicheskikh metodov poiskov kimberlitov* [Fundamentals of lithochemical, hydrogeochemical and biogeochemical methods of kimberlite prospecting], 2020. Available at: <https://industrial-wood.ru/geokhimicheskie-metody-poiska-mestorozhdeniy/17121-osnovy-litogeokhimicheskikh-gidrogeokhimicheskikh-i-biogeokhimicheskikh-metodov-poiskov-kimberlitov.html> (accessed 17.05.2022). (In Russ.).
- Serokurov Yu. N., Kalmykov V. D., Zuev V. M.* *Kosmicheskie metody pri prognoze i poiskakh mestorozhdenii almazov* [Space methods for forecasting and searching for diamond deposits], Moscow, *Nedra Publ.*, 2001, 198 p. (In Russ.).
- Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasil'eva V. I.* *Novyi podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh* [A new approach to geochemical searches for kimberlites in closed territories], *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], 2008, No. 4–5, pp. 108–112. (In Russ.).
- Sobolev N. V., Tomilenko A. A., Kuz'min D. V., Logvinova A. M., Bul'bak T. A., Fedorova E. N., Nikolenko E. I., Reutskii V. N., Sobolev A. V., Batanova V. G., Grakhanov S. A., Kostrovitskii S. I., Yakovlev D. A., Anastasenkov G. F., Tolstov A. V.* Prospects of search for diamondiferous kimberlites in the northeastern Siberian platform, *Russian Geology and Geophysics*, 2018, V. 59, No. 10, pp. 1365–1379.