

## Опыт применения цифрового моделирования для выявления наследования структур фундамента в современном рельефе севера Русской плиты

Е. В. Полякова, Ю. Г. Кутинов, З. Б. Чистова, А. Л. Минеев

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. Н. П. Лаверова РАН, Архангельск, 163000, Россия  
E-mail: lenpo26@yandex.ru*

Существует мнение, что сформировавшийся рельеф севера Восточно-Европейской платформы достаточно молод и не отражает её тектонического строения. Однако принципиально новое положение о том, что Восточно-Европейская платформа как единая структура первого рода является не тектонически пассивной, а довольно подвижной, особенно в её окраинных частях, вызывает необходимость учёта структурно-тектонических факторов при анализе облика современного рельефа. Неоднозначная, но существующая связь поверхностных процессов с глубинными заставляет более внимательно изучать региональные глубинные исследования и использовать их результаты. В данной статье проведена оценка характера наследования структур фундамента в современном рельефе севера Русской плиты. Показана возможность применения цифрового моделирования рельефа в структурно-геологических исследованиях. На основе сопоставления цифровой модели рельефа фундамента и цифровой модели дневной поверхности выделены формы проявления структур фундамента в современном рельефе Архангельской области. Прямой характер наследования имеет 61 % территории, обратный — 25 %, районы, где наследование не проявляется, соответствуют 14 % территории области. Кроме того, установлено, что проявление кимберлитового магматизма и районы вероятных локализаций нефтяных и газовых месторождений приурочены к повышениям на поверхности и соответствуют прямым формам отражения структур фундамента в современном рельефе, более тяготеющим к типу «выступ – выступ». Приведённые результаты являются предварительными и требуют дальнейшего детального изучения.

**Ключевые слова:** север Русской плиты, цифровая модель рельефа, структуры фундамента, прямые и обратные формы наследования

Одобрена к печати: 13.03.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-75-83

### Введение

Северная часть Русской плиты является структурной единицей Восточно-Европейской платформы. Современные границы её находятся у бортов зоны, переходной от континента к океану, в полосе шельфа Белого, Баренцева и Северного морей (Билибина, 1986). Крайне-материковое положение определяет регион как область максимальных напряжений геодинамических движений литосферы. Длительная история развития блоковых структур, воздействие разнородных геодинамических напряжений в области материкового склона Баренцева и Белого морей (образование Северного Ледовитого океана) в контакте с Балтийским щитом (область с устойчивой тенденцией к поднятию, начиная с позднего архея), смена геодинамических обстановок в районе Урала сформировали сложное разломно-блоковое строение региона (Кутинов, Чистова, 2004).

Существует мнение, что сформировавшийся рельеф севера Восточно-Европейской платформы достаточно молод и не отражает её тектонического строения. Главные черты современного рельефа своим происхождением обязаны деятельности четвертичного оледенения нескольких стадий, а также морских трансгрессий в межледниковые периоды. Остатки унаследованных морфоструктурных элементов дочетвертичного рельефа проявлены только в виде возвышенных участков Ветреного Пояса и Тиманской гряды (Губайдуллин, 2002). Однако принципиально новое положение о том, что Восточно-Европейская платформа как единая

структура первого рода является не тектонически пассивной, а достаточно подвижной, особенно в её окраинных частях, вызывает необходимость учёта структурно-тектонических факторов при анализе облика современного рельефа. Неоднозначная, но существующая связь поверхностных процессов с глубинными заставляет более внимательно изучать региональные глубинные исследования и использовать их результаты (Морозов и др., 2018).

Целью настоящей работы стала оценка характера наследования структур фундамента в современном рельефе севера Русской плиты с применением цифрового моделирования рельефа и возможностей геоинформационных технологий. Исследования подобного плана в нашей стране являются пионерными (Гильманова и др., 2011; Ермолаев, Семёнов, 2014; Зайцев и др., 2013; Златопольский, 2015), для территории севера Русской плиты предложены и применены авторами впервые. Вопрос этот имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Прямое наследование или отсутствие такового позволяет сделать вывод о возможной активизации разломов при разработке месторождений полезных ископаемых и, как следствие, миграции глубинных флюидов, проникновении загрязняющих веществ по латерали и вертикали и прочих сопутствующих явлениях.

### Материалы и методика работ

Исследование проведено в пределах Архангельской области. Данные о глубине залегания фундамента получены из «Карты рельефа поверхности фундамента» масштаба 1:1 000 000 (Литосфера..., 2001). Процесс получения цифровой модели рельефа (ЦМР) поверхности фундамента состоял из трёх этапов: 1) сканирование исходного материала; 2) оцифровка изогипс глубин залегания фундамента; 3) создание цифровой модели глубины залегания в среде ESRI ArcGIS с применением модуля *Toro to Raster*. Цифровая модель дневного рельефа Архангельской области строилась на основе глобальной модели ASTER GDEM v.2, дополненной в областях разрыва данными GMTED2010. Методика построения ЦМР и проверка её надёжности подробно описаны в работах (Минеев и др., 2015а, б, 2018). Далее проведено сопоставление двух моделей (рис. 1, см. с. 77).

Поскольку на территории области высота рельефа земной поверхности измеряется десятками и сотнями метров, а глубина залегания фундамента — километрами, произвести анализ зависимости величин друг от друга графически представляется затруднительным. Поэтому была применена процедура математического нормирования значений глубины фундамента  $F(x)$  и высоты рельефа дневной поверхности  $R(x)$  для каждой ячейки растра в диапазоне от 0 до 1 по следующей формуле:

$$y' = \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}},$$

где  $y'$  — нормированное значение в определённой ячейке растра;  $y$  — абсолютное значение высоты (м) или глубины (км) в данной ячейке;  $y_{\max}$ ,  $y_{\min}$  — соответственно максимальное и минимальное значения высоты (м) или глубины (км) для всего растра.

В результате получаются матрицы нормированных значений глубины залегания фундамента  $MF_n$  и высоты рельефа поверхности  $MR_n$ .

Дальнейший анализ характера отражения структур фундамента в дневном рельефе осуществляется на основе значений *матриц разности* и *матриц суммы*:

$$M^- = MF_n - MR_n; \quad M^+ = MF_n + MR_n.$$

Разности и суммы нормированных значений описывают определённые формы рельефа фундамента и дневной поверхности (рис. 2, см. с. 77). При этом под **прямыми формами** будем понимать те участки области исследования, в которых одновременно с поднятием земной поверхности наблюдается поднятие фундамента или одновременно с опусканием земной поверхности наблюдается опускание фундамента (см. рис. 2, А, В). Характеризовать эти формы будут значения матрицы  $M^+$ , близкие к 0 или 2. Под **обратными формами** будем понимать

те участки, в которых одновременно с поднятием земной поверхности наблюдается опускание фундамента или одновременно с опусканием земной поверхности наблюдается поднятие фундамента (см. рис. 2, D, C). Характеризовать эти формы будут значения матрицы  $M^-$ , близкие к 1 или  $-1$ .

Для выявления простираения структур фундамента применялся кластерный анализ.

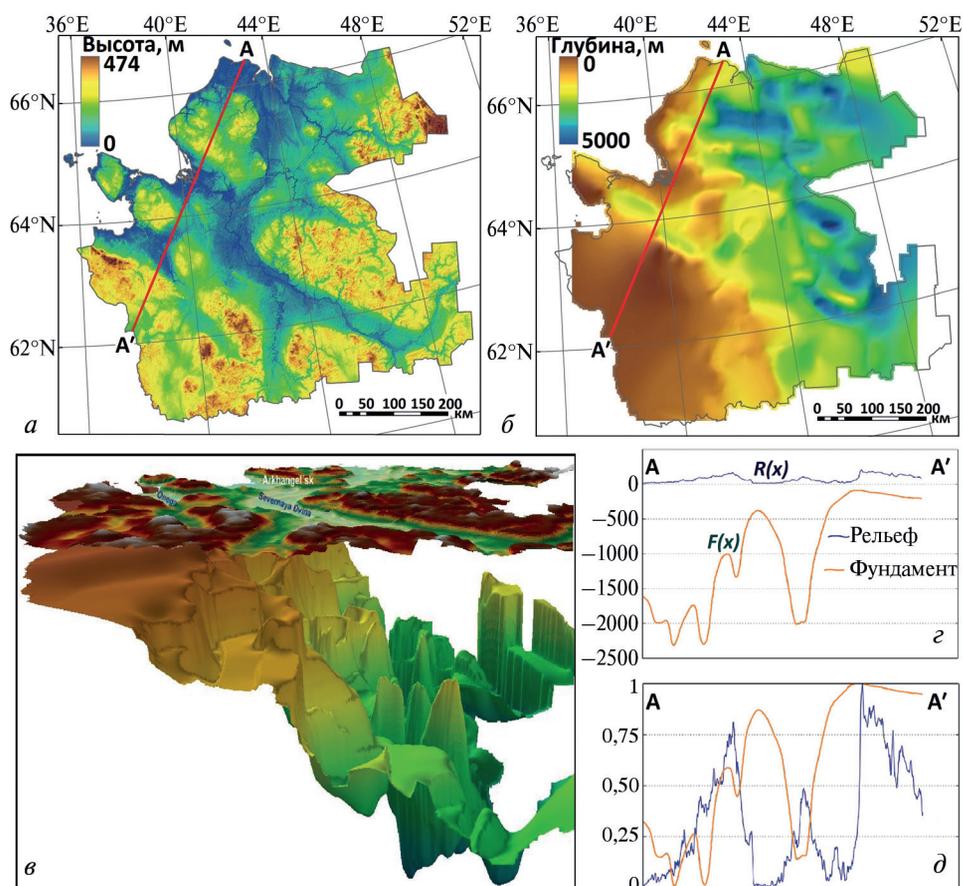


Рис. 1. Пример нормирования значений высот рельефа дневной поверхности и глубин фундамента по профилю А-А': а — цифровая модель рельефа на территорию Архангельской области; б — цифровая модель рельефа поверхности фундамента; в — сопоставление моделей в 3D; г — график значений по профилю А-А'; д — график нормированных значений по профилю А-А'

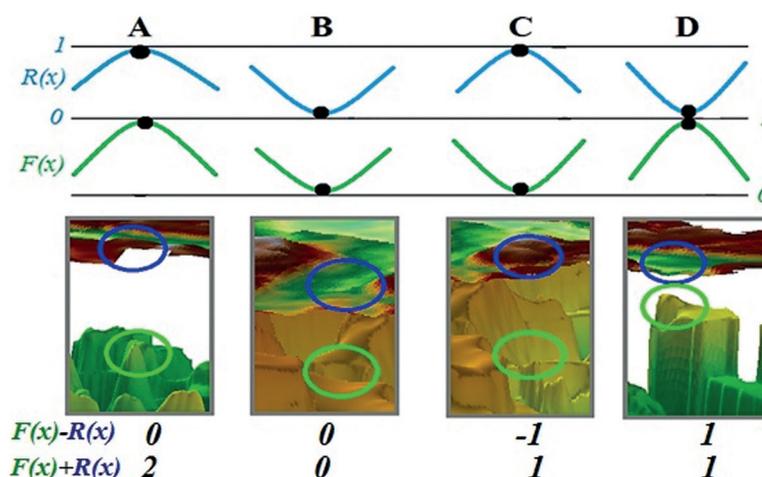


Рис. 2. Разность и сумма нормированных значений функций:  
А, В — прямые формы; С, D — обратные формы

## Результаты работ и обсуждения

При изучении тектонических структур (в первую очередь дизъюнктивных) на территории древних платформ, перекрытых мощным осадочным чехлом, возникают определённые трудности, связанные как с природными факторами, так и с пробелами в методических и методологических разработках. Основная проблема заключается в оценке форм и интенсивности проявлений активности тектонических структур, в том числе их роли в формировании структуры литогенной основы ландшафтов. При этом недостаточно ясен вопрос современной активности структуры и её проявлений на дневной поверхности (Литосфера..., 2001).

Самой информативной границей платформенного чехла является поверхность раздела чехла и фундамента (подошва чехла). В ней в той или иной мере запечатлены все тектонические движения, которые происходили на различных этапах развития платформы. Внутреннее строение чехла можно представить по вышележащим структурным поверхностям.

Выделение форм наследования структур фундамента в современном рельефе севера Русской плиты проводилось в два этапа. На первом этапе стояла задача разделить область исследования на два типа форм: прямые и обратные. Для этого введено понятие *абсолютной разницы нормированных значений* матриц высоты земной поверхности и глубины залегания фундамента:

$$M^{abs} = |MF_n - MR_n|.$$

Имея в виду такое обозначение, можно говорить, что значения матрицы абсолютной разности  $M^{abs}$ , приближающиеся к 0, будут соответствовать **прямым формам**, значения матрицы абсолютной разности  $M^{abs}$ , приближающиеся к 1 — **обратным формам**. Таким образом, территория исследования делится на три области, одна из которых занята прямыми формами, вторая — обратными, а третья — переходная зона, где наследования не отмечается. При этом прямым формам соответствуют значения от 0 до 0,45, обратным — от 0,55 до 1, значения от 0,45 до 0,55 характеризуют переходную зону. Прямой характер наследования имеет порядка 61 % территории исследования, обратный — 25 %, районы, где наследования не отмечается, занимают 14 % территории (таблица).

Статистика форм наследования структур фундамента в рельефе

Формы	Площадь территории, км <sup>2</sup> /%	Диапазон высот земной поверхности/среднее, м	Диапазон глубин залегания фундамента/среднее, км
Прямые	187 901,9/60,8	6–314/117	0,24–5,05/2,86
Обратные	78 498,5/25,4	1–431/73	0–3,42/0,7

На втором этапе стояла задача выделения внутренней структуры форм.

Прямые формы по своей внутренней структуре делятся на два класса (по типу «фундамент–рельеф»): «выступ–выступ» и «впадина–впадина». Это участки области исследования, в которых в первом случае одновременно с поднятием фундамента наблюдается поднятие земной поверхности (см. рис. 2, А), а во втором с опусканием фундамента — опускание земной поверхности (см. рис. 2, В). Обратные формы, в свою очередь, также делятся на два класса: «впадина–выступ» и «выступ–впадина» — участки, в которых одновременно с опусканием фундамента наблюдается поднятие земной поверхности (см. рис. 2, С) и соответственно с поднятием фундамента — опускание земной поверхности (см. рис. 2, D). Комбинируя значения матриц разницы и суммы таким способом, можно районировать исследуемую территорию по формам отражения структур фундамента в дневном рельефе (рис. 3, см. с. 79). Проведённое районирование позволяет сделать вывод о преобладании прямых форм наследования на северо-востоке территории и обратных форм — на юго-западе.

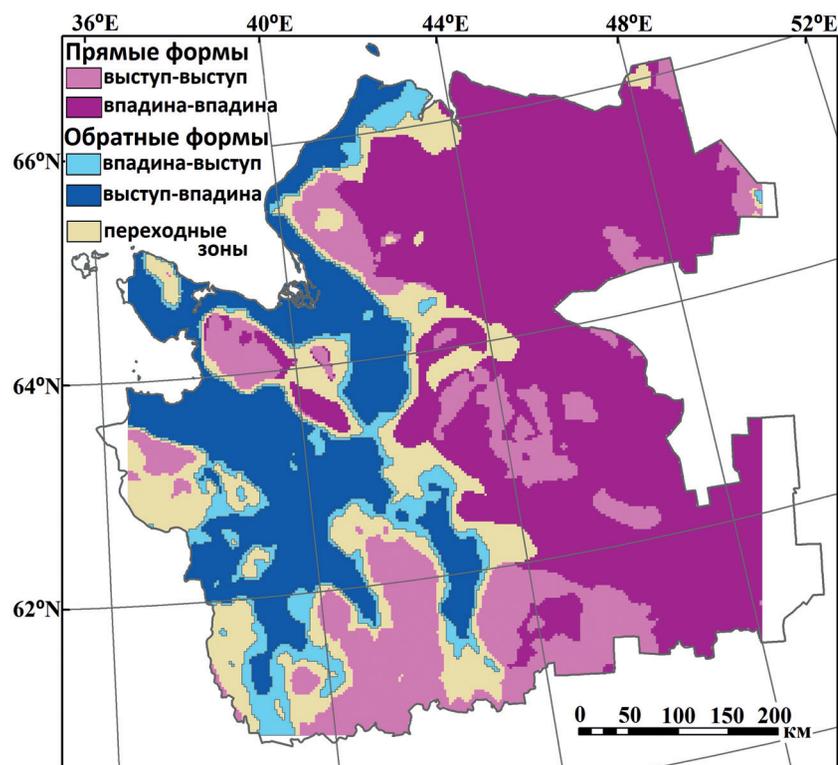


Рис. 3. Районирование территории Архангельской области по формам отражения структур фундамента в дневном рельефе

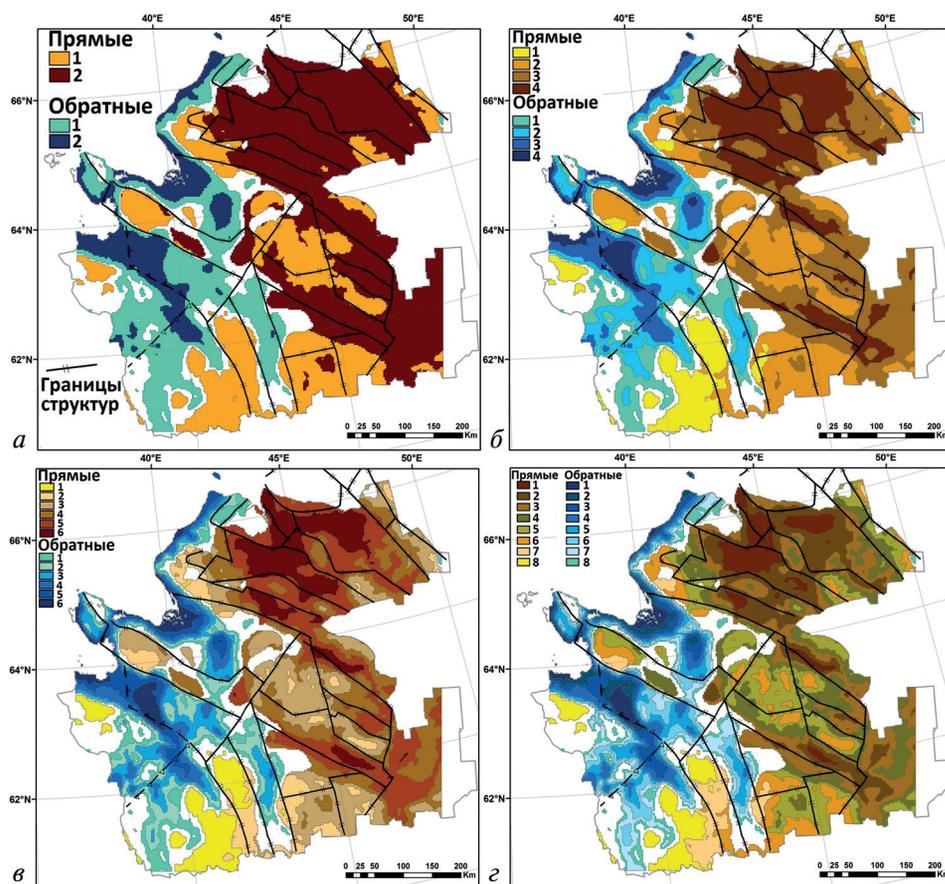


Рис. 4. Сопоставление кластерных значений прямых и обратных форм с основными структурами Русской плиты: а — 2 класса; б — 4 класса; в — 6 классов; г — 8 классов

Далее применялся кластерный анализ с разбиением прямых и обратных форм на 2, 4, 6 и 8 кластеров, что позволило детализировать формы по протяжённости и направлению (рис. 4, см. с. 79). Первые классы прямых форм соответствуют внутренней структуре типа «выступ – выступ», последние — типу «впадина – впадина». То же с обратными формами: первые классы — «впадина – выступ», последние — «выступ – впадина». На рис. 4 отчётливо выделяется северо-западное простирание прямых форм отражения фундамента в современном рельефе, что согласуется с простиранием и пространственным положением рифтовых систем.

При определении условий нефтегазообразования и нефтегазонакопления ведущая роль в общем комплексе факторов отводится тектоническим критериям. Важное место в ряду этих факторов занимают деформации новейшего тектонического этапа (Тимурзиев, 2006). Сами новейшие деформации зачастую полностью или частично наследуют структурный план более ранних тектонических этапов, причём основной механизм формирования тектонических структур может функционировать достаточно продолжительное время (Дмитриевская и др., 2000).

Нами проведено сопоставление материалов по вероятности встречи нефтяных и газовых месторождений по неотектоническим данным (Рябухина и др., 1997) и районов проявления кимберлитового магматизма с картой районирования территории Архангельской области по формам отражения структур фундамента в современном рельефе (рис. 5). В первом приближении можно говорить о том, что районы вероятных локализаций нефтяных и газовых месторождений и кимберлитовые поля приурочены к повышениям на поверхности и соответствуют прямым формам отражения структур фундамента в современном рельефе, более тяготеющим к типу «выступ – выступ».

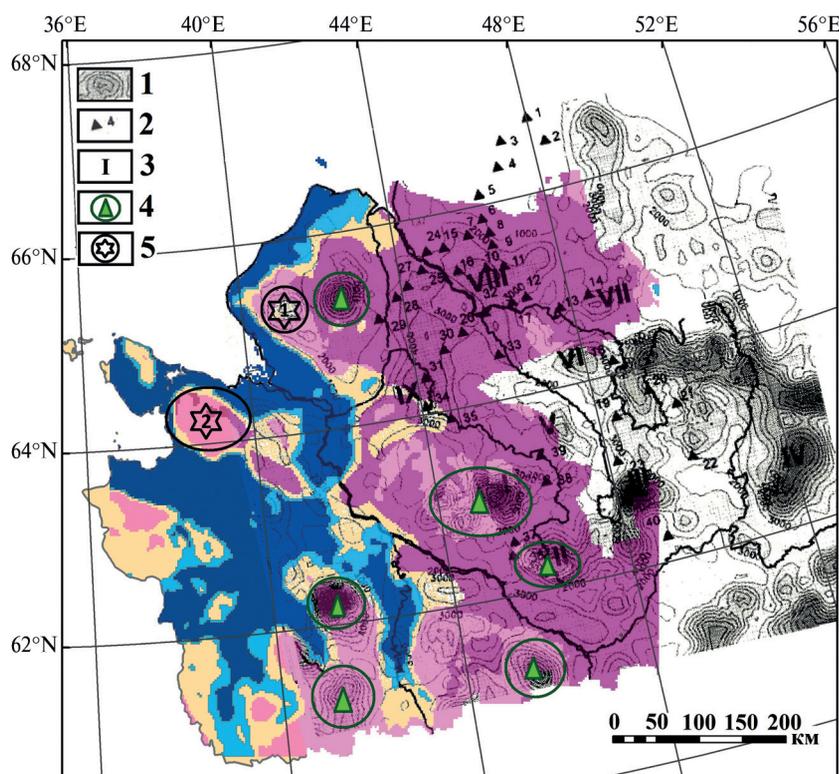


Рис. 5. Сопоставление материалов по вероятности встречи нефтяных и газовых месторождений и районов проявления кимберлитового магматизма с картой районирования Архангельской области по формам отражения структур фундамента в дневном рельефе: 1 — изогипсы произведения условных вероятностей встречи нефтяных и газовых месторождений по неотектоническим данным; 2 — скважины; 3 — наиболее перспективные участки для поиска нефти и газа (I–IX); 4 — районы вероятных локализаций нефтяных и газовых месторождений; 5 — районы кимберлитового магматизма: Зимнеберезный (1), Ненокское и Белозёрское кимберлитовые поля (2)

## Выводы

Повсеместное покрытие Архангельской области лесным покровом, малое количество глубинных скважин, вскрывающих древние осадочные толщи и обнажающих поверхность фундамента, значительно затрудняют изучение глубинного строения территории. При поиске и разведке месторождений полезных ископаемых, а также оценке их перспективности на первое место выходят косвенные признаки и критерии выделения перспективных областей.

В данной статье показана возможность применения цифрового моделирования рельефа в структурно-геологических исследованиях. На основе сопоставления цифровой модели рельефа фундамента и цифровой модели дневной поверхности выделены формы проявления структур фундамента в современном рельефе Архангельской области. Прямой характер наследования имеет 61 % территории, обратный — 25 %, районы, где наследование не проявляется, соответствуют 14 % территории области. Кроме того, установлено, что проявление кимберлитового магматизма и районы вероятных локализаций нефтяных и газовых месторождений приурочены к повышениям на поверхности и соответствуют прямым формам отражения структур фундамента в современном рельефе, более тяготеющим к типу «выступ – выступ».

Приведённые результаты являются предварительными и требуют дальнейшего детального изучения и проработки. Проведение геоморфометрического анализа цифровой модели фундамента позволит дать более качественную и детальную оценку его структурных элементов

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН № гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7; а также при финансовой поддержке РФФИ, проект № 18-05-60024 «Анализ состояния природной среды равнинных территорий Арктической зоны РФ с использованием геоинформационных технологий и цифрового моделирования рельефа».

## Литература

1. Билибина Т. В. Блоковая тектоника и геодинамика земной коры северо-запада Русской платформы и принципы прогнозирования рудоносных структур // Блоковая тектоника и перспективы рудоносности Русской платформы. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. С. 22–29.
2. Гильманова Г. З., Рыбас О. В., Горошко М. В. Применение преобразованных цифровых моделей рельефа для геолого-структурного районирования крупных блоков земной коры // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 6. С. 34–43.
3. Губайдуллин М. Г. Геоэкологические условия освоения минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России. Архангельск: Поморский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, 2002. 310 с.
4. Дмитриевская Т. В., Рябухина С. Г., Дворецкий П. И., Пономарев В. А., Зайцев В. А. Влияние структуры поверхности фундамента на характер распределения нефтяных и газовых месторождений Тимано-Печорского бассейна // Геология нефти и газа. 2000. № 4. С. 56–58.
5. Ермолаев О. П., Семёнов Ф. В. Использование цифровых моделей рельефа для морфометрического анализа тектонических структур и поиска россыпей аллювиального генезиса // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 142–147.
6. Зайцев В. А., Златопольский А. А., Панина Л. В. Современный рельеф Скифской плиты как отражение деформаций фундамента // Вестн. Московского ун-та. Сер. 4: Геология. 2013. № 6. С. 13–18.
7. Златопольский А. А. Мультимасштабный анализ цифровой модели рельефа. Экспериментальные закономерности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 3. С. 27–35.
8. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений кимберлитового магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП Правда Севера», 2004. 284 с.
9. Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы / отв. ред. Ф. Н. Юдахин. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 408 с.
10. Минеев А. Л., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б., Полякова Е. В. (2015а) Подготовка цифровой модели рельефа для исследования экзогенных процессов северных территорий Российской Федерации // Пространство и Время. 2015. № 3(21). С. 278–291.

11. *Минеев А. Л., Полякова Е. В., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* (2015б) Методические аспекты создания цифровой модели рельефа Архангельской области на основе ASTER GDEM V.2 // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2. URL: [www.science-education.ru/129-21949](http://www.science-education.ru/129-21949).
12. *Минеев А. Л., Полякова Е. В., Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б.* Надёжность цифровой модели рельефа Архангельской области для проведения геоэкологических исследований // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 4. С 58–67. URL: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-4-58-67>.
13. *Морозов А. Н., Ваганова Н. В., Асминг В. Э., Михайлова Я. А.* Сейсмичность Севера Русской плиты: уточнение параметров гипоцентров современных землетрясений // *Физика Земли*. 2018. № 2. С. 104–123.
14. *Рябухина С. Г., Дмитриевская Т. В., Зайцев В. А.* Перспективы нефтегазоносности Мезенской синеклизы по неотектоническим данным // *Геология нефти и газа*. 1997. № 6. С. 16–21.
15. *Тимурзиев А. И.* Новейшая тектоника и нефтегазоносность запада Туранской плиты // *Геология нефти и газа*. 2006. № 1. С. 35–44.

## Experience of digital elevation modeling for the identification of inheritance of foundation structures in modern relief of the northern part of Russian Plate

**E. V. Polyakova, Yu. G. Kutinov, Z. B. Chistova, A. L. Mineev**

*N. P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS  
Arkhangelsk 163000, Russia  
E-mail: lenpo26@yandex.ru*

There is an opinion that the formed relief of the north of the East European Platform is quite young and does not reflect its tectonic structure. However, the fundamentally new position that the East European Platform, as a single structure of the first kind, is not tectonically passive, but rather mobile, especially in its marginal parts, necessitates taking into account structural and tectonic factors when analyzing the appearance of the modern relief. Ambiguous, but the existing connection of surface processes with deep processes makes us study more closely and use the results of regional in-depth studies. This article assessed the nature of the inheritance of basement structures in the modern relief of the North of the Russian Plate. The possibility of applying digital elevation modeling in structural and geological studies is shown. Based on the comparison of the digital model of the relief of the foundation and the digital model of the surface, the forms of the manifestation of the structures of the foundation in the modern relief of the Arkhangelsk region are highlighted. 61 % of the territory has the direct character of inheritance, the reverse — 25 %, areas where the inheritance does not manifest, correspond to 14 % of the territory of the region. In addition, it was found that the manifestation of kimberlite magmatism and areas of likely localization of oil and gas fields are confined to increases on the surface and correspond to the direct forms of reflection of the basement structures in the modern relief, which are more protruding to the “high-high” type. The results are preliminary and require further detailed study.

**Keywords:** northern part of Russian plate, digital elevation model, foundation structures, direct and reverse forms of inheritance

Accepted: 13.03.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-75-83

## References

1. Bilibina T. V., Blokovaya tektonika i geodinamika zemnoi kory severo-zapada Russkoi platformy i printsipy prognozirovaniya rudonosnykh struktur (Block tectonics and geodynamics of the crust of the north-west of the Russian Platform and principles for predicting ore-bearing structures), *Blokovaya tektonika i perspektivy rudonosnosti Russkoi platformy*, Leningrad: VSEGEI, 1986, pp. 22–29.
2. Gil'manova G. Z., Rybas O. V., Goroshko M. V., Primenenie preobrazovannykh tsifrovyykh modelei rel'efa dlya geologo-strukturnogo raionirovaniya krupnykh blokov zemnoi kory (The use of transformed digital elevation models for geological and structural zoning of large blocks of the earth's crust), *Tikhookeanskaya geologiya*, 2011, Vol. 30, No. 6, pp. 34–43.
3. Gubaidullin M. G., *Geoekologicheskie usloviya osvoeniya mineral'no-syr'evykh resursov Evropeiskogo Severa Rossii* (Geo-environmental conditions for the development of mineral resources in the European North of Russia), Arkhangel'sk: Pomorskii gosudarstvennyi universitet im. M. V. Lovonosova, 2002, 310 p.
4. Dmitrievskaya T. V., Ryabukhina S. G., Dvoret'skii P. I., Ponomarev V. A., Zaitsev V. A., Vliyanie struktury poverkhnosti fundamenta na kharakter raspredeleniya neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii Timano-Pechorskogo basseina (Influence of the structure of the basement surface on the nature of the distribution of oil and gas fields in the Timan-Pechora basin), *Geologiya nefii i gaza*, 2000, No. 4, pp. 56–58.
5. Ermolaev O. P., Semenov F. V., Ispol'zovanie tsifrovyykh modelei rel'efa dlya morfometricheskogo analiza tektonicheskikh struktur i poiska rossypei allyuvial'nogo genezisa (The use of digital elevation models for morphometric analysis of tectonic structures and search for alluvial placers alluvial), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2014, No. 1, pp. 142–147.
6. Zaitsev V. A., Zlatopol'skii A. A., Panina L. V., Sovremennyy rel'ef Skifskoi plity kak otrazhenie deformatsii fundamenta (Modern relief of the Scythian plate as a reflection of the deformation of the foundation), *Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 4: Geologiya*, 2013, No. 6, pp. 13–18.
7. Zlatopol'skii A. A., Mul'timasshtabnyi analiz tsifrovoi modeli rel'efa. Eksperimental'nye zakonomernosti (Multiscale digital elevation model analysis. Experimental patterns), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 3, pp. 27–35.
8. Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., *Ierarkhicheskii ryad proyavlenii kimberlitovogo magmatizma Arkhangel'skoi amazonosnoi provintsii. Ikh otrazhenie v geologo-geofizicheskikh materialakh* (A hierarchical series of manifestations of kimberlite magmatism of the Arkhangel'sk diamondiferous province. Their reflection in geological and geophysical materials), Arkhangel'sk: OAO "IPP Pravda Severa", 2004, 284 p.
9. *Litosfera i gidrosfera evropeiskogo Severa Rossii. Geoekologicheskie problemy* (Lithosphere and hydrosphere of the European North of Russia. Geocological problems), F. N. Yudakhin (ed.), Ekaterinburg: UrO RAN, 2001, 408 p.
10. Mineev A. L., Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Polyakova E. V. (2015a), Podgotovka tsifrovoi modeli rel'efa dlya issledovaniya ekzogennykh protsessov severnykh territorii Rossiiskoi Federatsii (Preparation of a digital elevation model for the study of exogenous processes in the northern territories of the Russian Federation), *Prostranstvo i Vremya*, 2015, No. 3(21), pp. 278–291.
11. Mineev A. L., Polyakova E. V., Kutinov Yu. G., Chistova Z. B. (2015b), Metodicheskie aspekty sozdaniya tsifrovoi modeli rel'efa Arkhangel'skoi oblasti na osnove ASTER GDEM V. 2 (Methodical aspects of creating a digital elevation model of the Arkhangel'sk region based on ASTER GDEM V. 2), *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, No. 2, available at: [www.science-education.ru/129-21949](http://www.science-education.ru/129-21949).
12. Mineev A. L., Polyakova E. V., Kutinov Yu. G., Chistova Z. B., Nadezhnost' tsifrovoi modeli rel'efa Arkhangel'skoi oblasti dlya provedeniya geoekologicheskikh issledovaniy (The reliability of a digital elevation model of the Arkhangel'sk region for geocological research), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 4, pp. 58–67, available at: <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-4-58-67>.
13. Morozov A. N., Vaganova N. V., Asming V. E., Mikhailova Ya. A., Seismichnost' Severa Russkoi plity: utochnenie parametrov gipotsentrov sovremennykh zemletryasenii (Seismicity of the North of the Russian Plate: specification of the parameters of hypocenters of modern earthquakes), *Fizika Zemli*, 2018, No. 2, pp. 104–123.
14. Ryabukhina S. G., Dmitrievskaya T. V., Zaitsev V. A., Perspektivy neftegazonosnosti Mezenskoi sineklizy po neotektonicheskim dannym (Oil and gas potential of the Mezen syncline according to neotectonic data), *Geologiya nefii i gaza*, 1997, No. 6, pp. 16–21.
15. Timurzиеv A. I., Noveishaya tektonika i neftegazonosnost' zapada Turanskoi plity (The latest tectonics and oil and gas potential of the west of the Turan plate), *Geologiya nefii i gaza*, 2006, No. 1, pp. 35–44.