

Геоинформатика. 2024. № 3. С. 37–44.
Geoinformatika. 2024;(3):37–44.

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья

УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-37-44>

Геоинформационное моделирование песчаных инжектитов

© 2024 г. — Константин Игоревич Никашин^{1, а)}, Светлана Олеговна Зорина^{1, б)}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет; Казань, Россия

^{а)}kostya97@inbox.ru, ^{б)}svzorina@yandex.ru

Аннотация: Приведены результаты применения технологии геоинформационного моделирования для создания трехмерной модели палеогеновых песчаных инжектитов. Описывается минерогеническое значение песчаных инжектитов как источников стекольного и строительного сырья. Поэтапно раскрывается процесс моделирования с использованием полученного массива данных и среды трехмерного моделирования Blender. Составленные пространственные модели могут быть использованы при блокировке и подсчете запасов и ресурсов на объектах недропользования.

Ключевые слова: *геоинформационное моделирование; песчаный инжектит; кварцевые пески; минеральное сырье.*

Для цитирования: Никашин К.И., Зорина С.О. Геоинформационное моделирование песчаных инжектитов // Геоинформатика. — 2024. — № 3. — С. 37–44. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-37-44>.

Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

Geoinformation modeling of sand injectites

© 2024 — Konstantin I. Nikashin^{1, а)}, Svetlana O. Zorina^{1, б)}

¹Kazan Federal University; Kazan, Russia

^{а)}kostya97@inbox.ru, ^{б)}svzorina@yandex.ru

Abstract: The results of application of geoinformation modeling technology to create a three-dimensional model of Paleogene sand injectites are presented. The mineralogenic significance of sand injectites as sources of glass and construction raw materials is described. The modeling process using the obtained data set and three-dimensional modeling environment Blender is revealed step by step. The compiled spatial models can be used in blocking and calculation of reserves and resources at the objects of subsoil use.

Key words: *geoinformation modeling; sand injectite; quartz sands; mineral resources.*

For citation: Nikashin K.I., Zorina S.O. Geoinformation modeling of sand injectites. *Geoinformatika*. 2024;(3):37–44. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2024-3-37-44>. In Russ.

Введение

Палеогеновые кварцевые пески Ульяновского Поволжья считаются наилучшими по качеству стекольными песками в России и являются минеральным сырьем федерального значения [1, 2]. При нарастающей потребности добывающих предприятий в стекольных песках возможности расширения минерально-сырьевой базы практически исчерпаны [3]. Поэтому актуальной задачей в настоящее время является разработка новых подходов к проведению прогнозно-поисковых работ на стекольные кварцевые пески, особенно с учетом того, что они имеют инжектное происхождение [4, 5], крайне неравномерное залегание и сильно изменчивую мощность (0–150 м) [6, 7]. Поэтому для увеличения точности проектирования полезной толщи в пределах участков недр требуется про-

странственная модель песчаной залежи, созданная с применением геоинформационных технологий. Задача настоящего исследования — разработка алгоритмов и построение трехмерных моделей песчаных инжектитов.

Алгоритм построений трехмерных моделей песчаных инжектитов

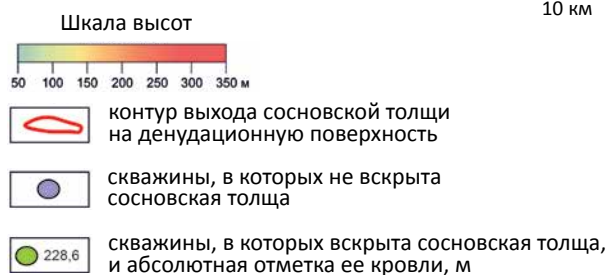
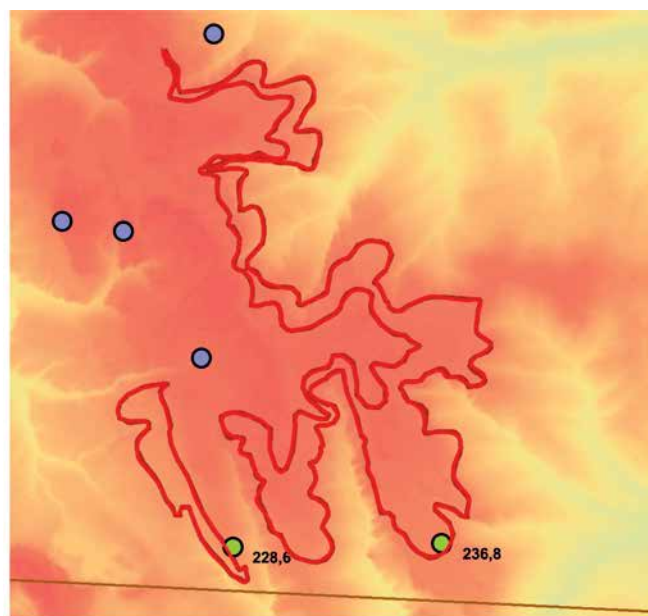
Непосредственно перед проведением моделирования выполнена проработка около 40 фондовых источников о результатах геолого-разведочных работ (ГРП) в Ульяновском Поволжье, в ходе которой систематизирована информация об условиях залегания сосновской толщи палеогена, породами которой сложены инжектиты [4, 8]. По результатам информационной проработки составлен набор точных данных (скважин, обнажений, контуров

границ стратонов и др.), в котором структурированы ретроданные о мощности, абсолютных отметках кровли и подошвы сосновской толщи и определены границы моделируемых тел.

Разработанная методика построения трехмерной модели приводится на примере Ташлинского инжектита, максимальная мощность которого превышает 150 м [9]. Первоначально в среде ArcMap был создан проект контуров выхода сосновской толщи на денудационную поверхность, импортированный из унифицированной цифровой модели листа Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 (ГГК-200), который размещен в Каталоге изданий ГГК-200 [10]. В этот проект была импортирована цифровая модель рельефа SRTM в формате tiff (рис. 1) и добавлены количественные данные об отметках залегания сосновской толщи по скважинам.

Рис. 1. Цифровая модель рельефа исследуемой территории и контуры сосновской толщи

Fig. 1. Exporting the vector layer data of the project "Federal Highways of the Russian Federation"



Затем был создан растр, содержащий информацию о рельефе в пределах выходов толщи на дневную поверхность (рис. 2). Выполнены конвертация растра в мультиточечный объект и экспорт данных в формате shape-файла.

Следующим шагом был импорт полученного shape-файла из ArcMap в находящуюся в свободном доступе программу Blender с встроенным модулем Blender GIS (рис. 3). Методом триангуляции Делоне на основе точечных данных была построена поверхность, отображающая рельеф в пределах выходов сосновской толщи на дневную поверхность.

Далее строились поперечные и продольные разрезы моделируемой толщи. Расстояния между поперечными разрезами зависели от геометрии песчаного тела и расстояний между конкретными разрезами (от 750 м до 2,5 км) (рис. 4). Геометрия разрезов определялась рельефом (для участков,

Рис. 2. Растр, содержащий информацию о рельефе в пределах поверхностных выходов сосновской толщи

Fig. 2. Raster image containing information on the relief within the surface outcrops of the Sosnov Formation

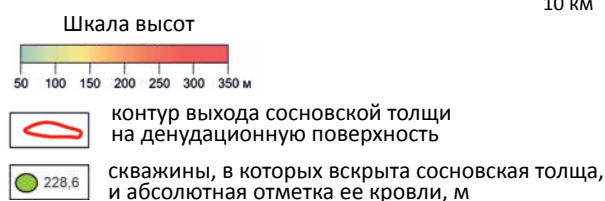
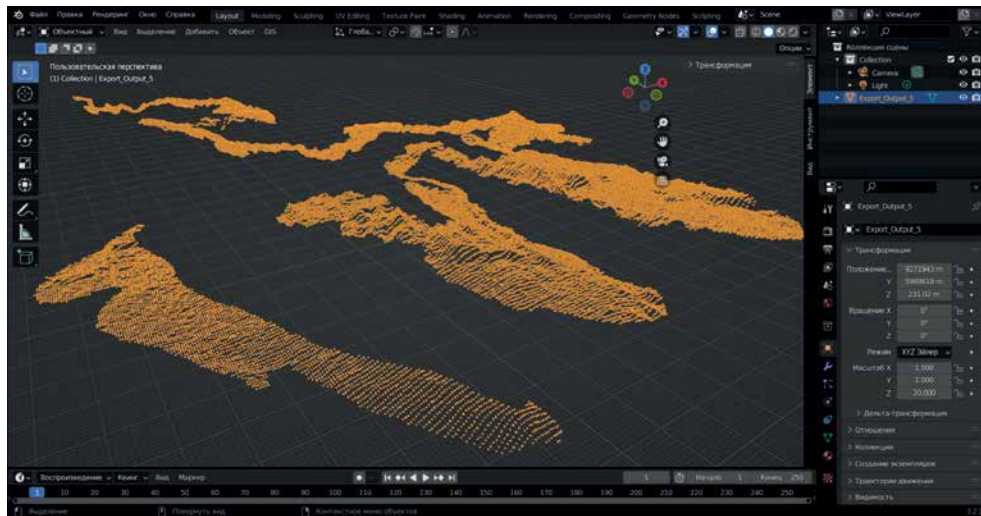
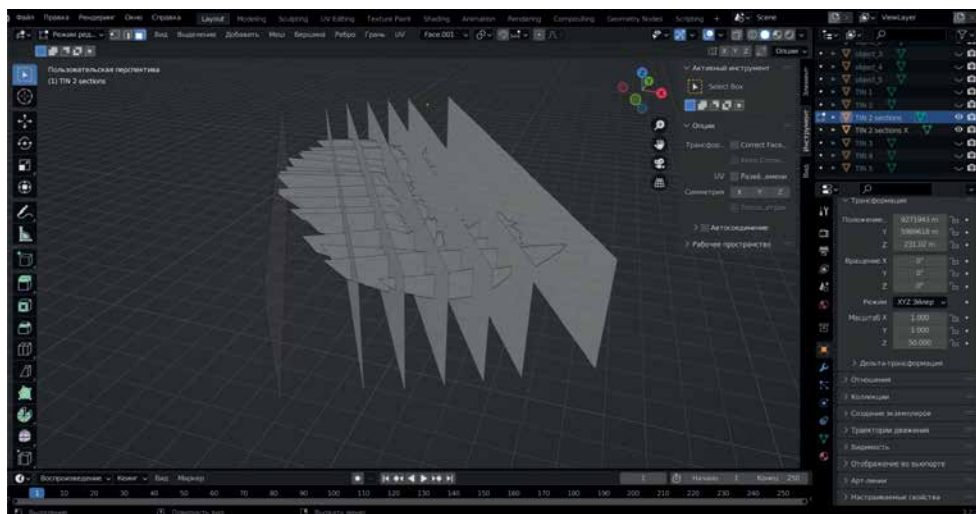


Рис. 3. Мультиточечный объект поверхности сосновской толщи, экспортированный из ArcMap в Blender (скриншот)
Fig. 3. Multi-point object of the Sosnov Formation surface exported from ArcMap to Blender (screenshot)



мультиточечный объект поверхности сосновской толщи в Blender

Рис. 4. Мультиточечный объект поверхности сосновской толщи, экспортированный из ArcMap в Blender (скриншот)
Fig. 4. Multi-point object of the Sosnov Formation surface exported from ArcMap to Blender (screenshot)



поперечные и продольные разрезы моделируемого инжентита в Blender

выходящих на дневную поверхность) и параметрами толщи, приведенными в матрице данных.

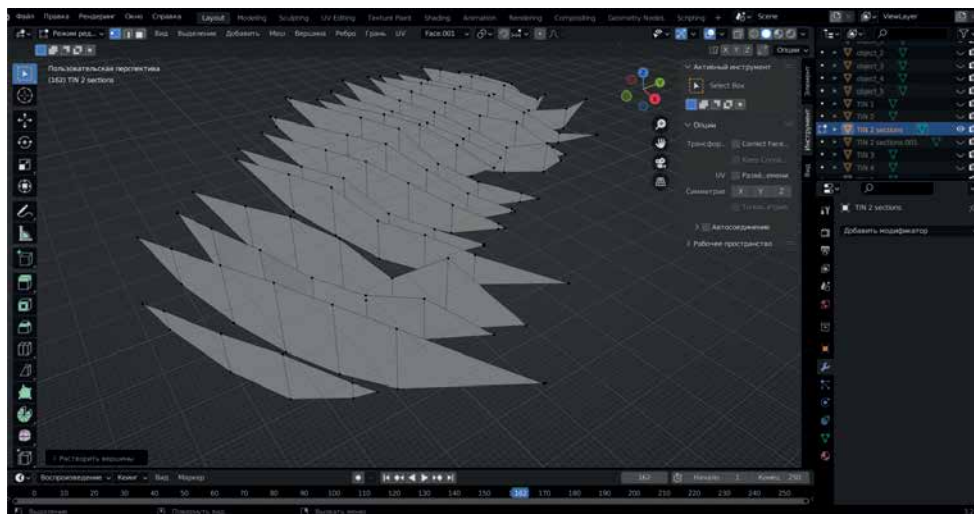
С использованием инструмента «Нож» были созданы «узлы» в местах пересечения продольных и поперечных разрезов. Затем были удалены вершины поперечных разрезов, не участвовавших в построении модели, а после этого — и сами продольные разрезы (рис. 5). Тем самым были построены упрощенные поперечные профили, вершины поли-

гонов которых послужили основой для построения трехмерной поверхности сосновской толщи. По ранее созданной сетке узлов была построена полигональная поверхность с использованием инструмента «Мост», т. е. была получена трехмерная модель песчаного тела.

Для сглаживания поверхности модели число полигонов было увеличено по алгоритму Катмулла-Кларка (рис. 6).

Рис. 5. Упрощенные поперечные профили (скриншот)

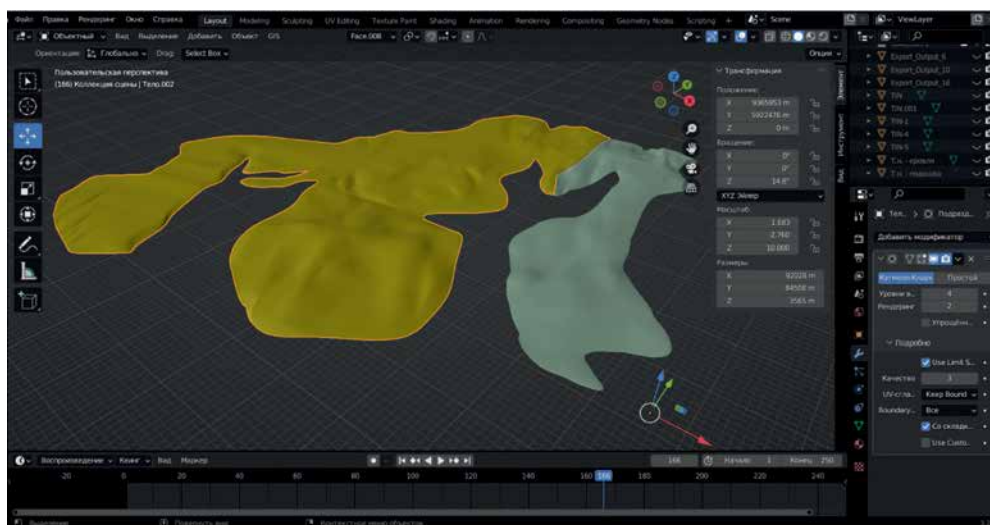
Fig. 5. Simplified cross profiles (screenshot)



упрощенные поперечные разрезы моделируемого инжектата в Blender

Рис. 6. Трехмерная модель инжектата после увеличения числа полигонов по алгоритму Катмулл-Кларка (скриншот)

Fig. 6. Three-dimensional model of the injectite after increasing the number of polygons by the Catmull-Clark algorithm (screenshot)



трехмерная модель инжектата после применения алгоритма Катмулл-Кларка в Blender

Затем полученная модель экспортировалась в формате share-файла и визуализировалась в среде ArcScene в качестве объемной проекции на геологическую карту (рис. 7).

Конечным результатом построения пространственной модели песчаного инжектата была ее графическая визуализация, включающая проекции модели на геологическую карту ГТК-200 и перспек-

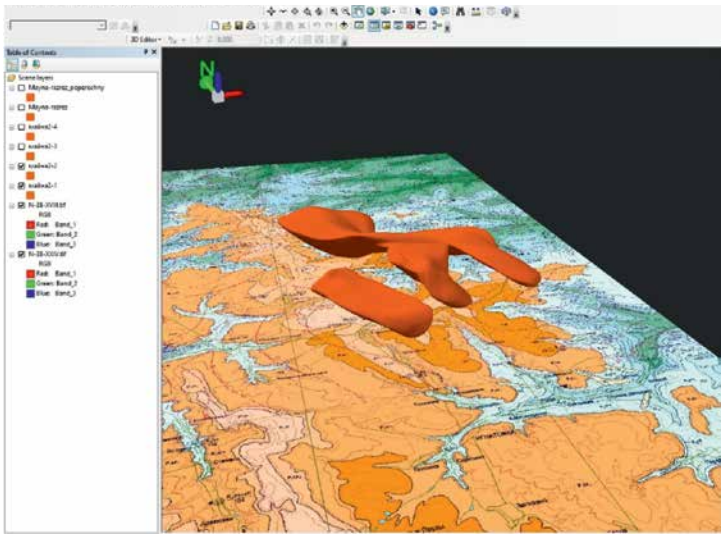
тивные ракурсы инжектата, сочетающиеся с поперечными разрезами и указанием мощности (рис. 8).

Выделение областей приповерхностного залегания кварцевых песков сосновской толщи

Созданная цифровая среда позволила получить не только пространственные модели пяти песчаных инжективов, но и выделить участки приповерх-

Рис. 7. Визуализация трехмерной модели в ArcScene (скриншот)

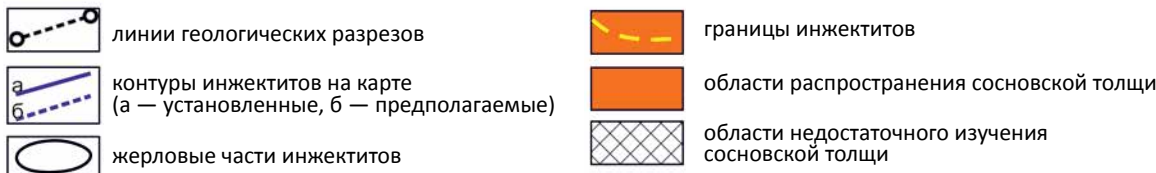
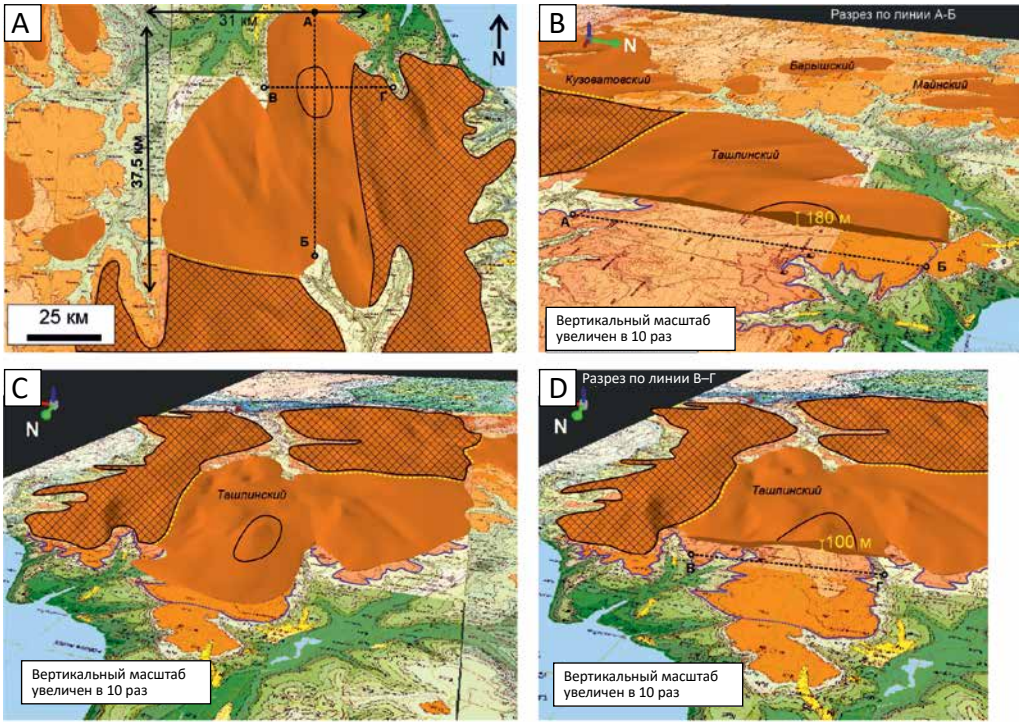
Fig. 7. 3D model visualization in ArcScene (screenshot)



трехмерная модель фрагментов сосновской толщи в ArcScene

Рис. 8. Трехмерная модель сосновской толщи (Ташлинский инжектит)
А — проекция модели на сшивку смежных листов геологических карт ГГК-200, В — вид с востока на запад с разрезом по линии А-Б, С — вид с севера на юг, D — вид с севера на юг с разрезом по линии В-Г

Fig. 8. Three-dimensional model of the Sosnov Formation (Tashlinsky injectite)
A — projection of the model on the stitching of adjacent sheets of geological maps SGM-200, B — view from east to west with a section along the line A-B, C — view from north to south, D — view from north to south with a section along the line V-G



Примечание. В качестве геологической основы использованы фрагменты листов N-38-XVIII, N-38-XXIV, N-38-XXX, N-39-XIII, N-39-XIX, N-39-XXV.

ностного залегания песчаной залежи. Тем самым стало возможно выделить перспективные участки для постановки ГРП. Для решения этой задачи были построены карты изопакит сосновской толщи. Сначала была создана сеть виртуальных скважин для измерения отметок кровли и подошвы сосновской толщи с предварительной конвертацией полигональной модели в мультитач.

Результаты измерения мощности сосновской толщи в виртуальных скважинах были интерполированы методом сплайн с натяжением, и построен растр изопакит сосновской толщи (рис. 9), на котором линии равной мощности проведены через 10 м, а максимальная мощность превышает 150 м (на рис. 9 это самые темные синие области).

Для выделения областей приповерхностного залегания сосновской толщи, которые могут быть рекомендованы потенциальным недропользователям в качестве перспективных участков для геологического изучения и разведки песчаного сырья, получены растры изопакит вскрыши. Значения мощности вскрыши вычислены путем вычитания отметок кровли сосновской толщи из отметок рельефа. На построенных картах выделены участки с мощностью вскрыши менее 5 м (рис. 10). Кроме того, оказалось возможным рассчитать площади

этих участков, средние мощности сосновской толщи и вскрышных пород, а также объемы песчаных залежей в пределах контуров выделенных инжектитов.

Таким образом, каждый перспективный участок получил детальную морфологическую характеристику полезной толщи, что делает инвестирование средств недропользователей в выделенные объекты более надежным и эффективным.

Выводы

1. Предложен алгоритм построения пространственных моделей песчаных залежей инжектного происхождения.

2. На основе созданных цифровых моделей инжектитов выделены перспективные участки, в пределах которых целесообразна постановка ГРП на песчаное сырье.

3. Степень детальности построенных моделей позволяет констатировать, что в силу крайне неравномерного залегания сосновской толщи проведение прогнозных построений и последующих ГРП на стекольное и строительное песчаное сырье целесообразно проводить с использованием пространственной модели конкретной залежи.

Рис. 9. Карта изопакит сосновской толщи

Fig. 9. Map of equal thickness of the Sosnov Formation

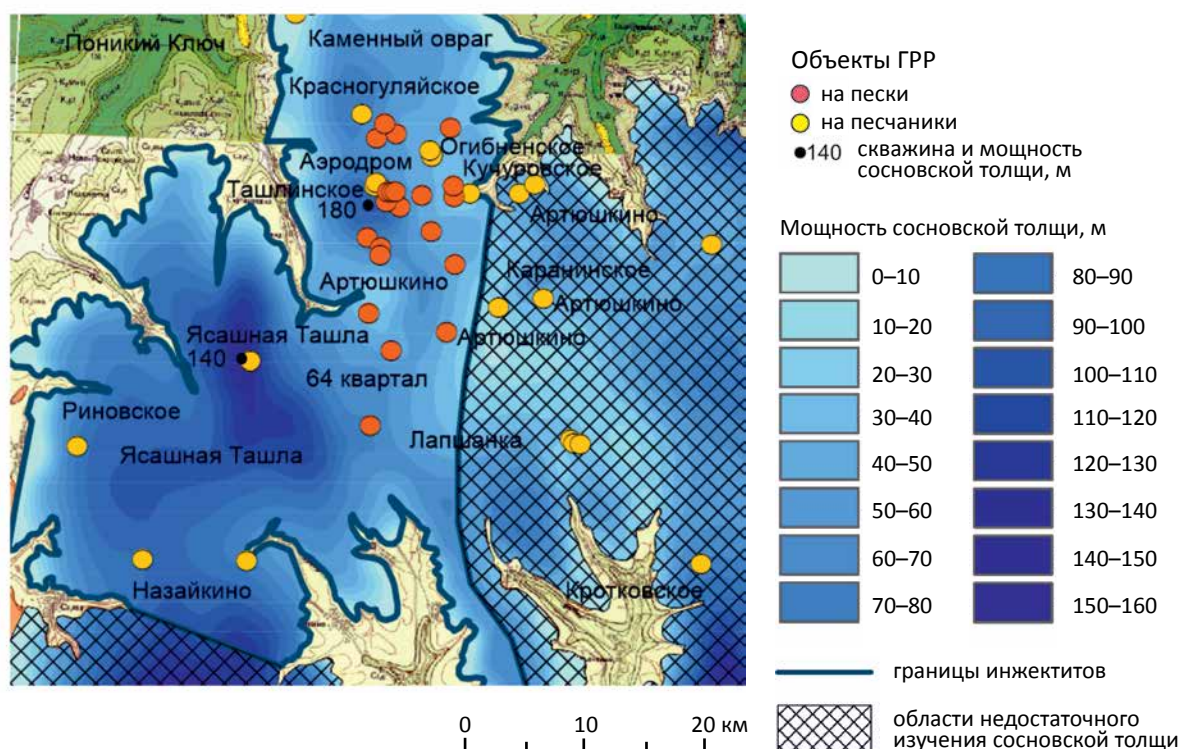
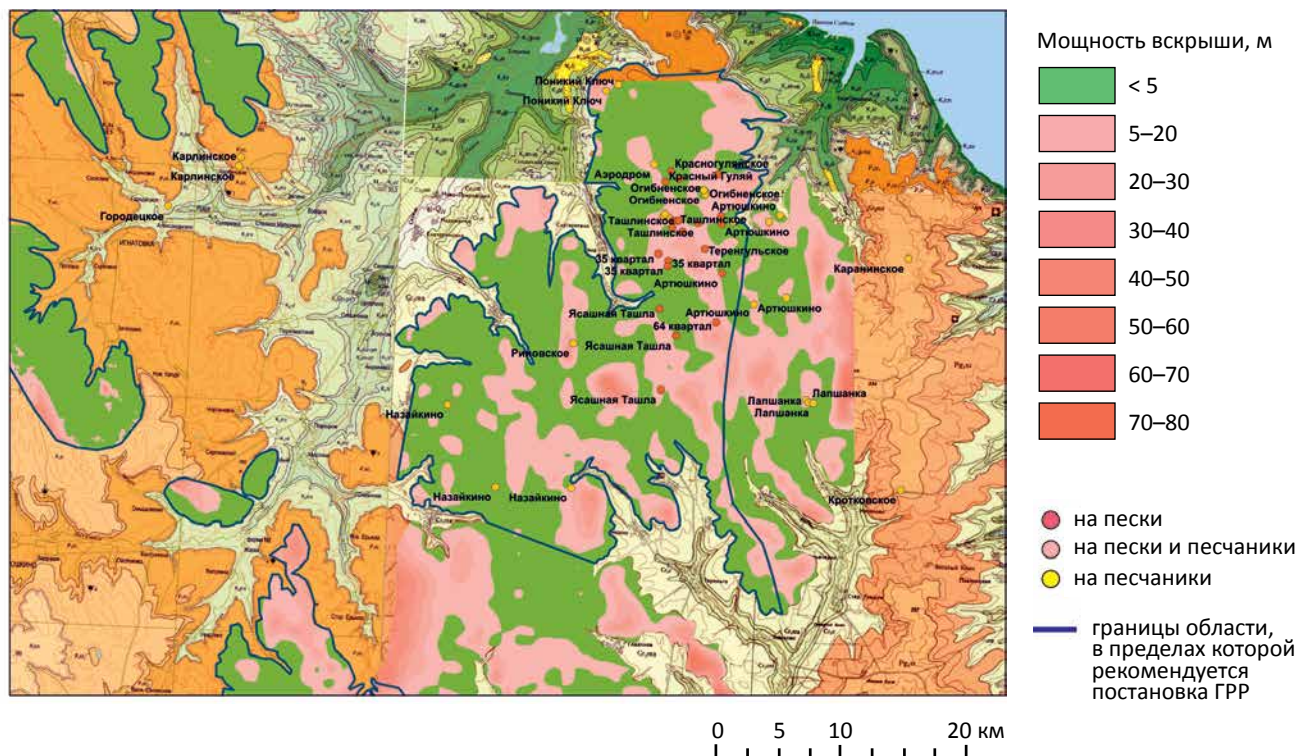


Рис. 10. Цифровая карта распространения сосновской толщи (Ташлинский инжектит) с объектами ГРП

Fig. 10. Digital map of the Sosnov Formation (Tashlinsky injectite) with exploration sites



Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-27-00070, <https://rscf.ru/project/22-27-00070/>.

Список источников

- Бирюлев Г.Н. Минерально-сырьевая база стекольного сырья Российской Федерации: состояние, использование, перспективы развития // Георесурсы. – 2015. – № 4-1 (63). – С. 21–24.
- Состояние и характеристика ресурсной базы углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых в Приволжском федеральном округе по состоянию на 01.01.2018 г. [Электронный ресурс] / Роснедра. — Режим доступа: <https://pfo.rosnedra.gov.ru/page/150.html?mm=511&ml=414> (дата обращения: 18.07.2024).
- Аксенов Е.М., Бирюлев Г.Н., Дистанов У.Г., Кандауров П.М. Минерально-сырьевая база стекольной промышленности России: состояние и перспективы развития // Стекло России. – 2011. – № 3. – С. 24–26.
- Афанасьева Н.И., Зорина С.О., Никашин К.И., Хамада Н. Песчаные интрузии в палеогеновых отложениях Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – Вып. 1 (69). – С. 46–56. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-1-45–56.
- Зорина С.О., Афанасьева Н.И., Хамада Н., Никашин К.И., Сокерин М.Ю. Кварцевые песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты): вещественный состав и происхождение // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2023. – Т. 23. – Вып. 1. – С. 21–30. DOI: 10.18500/1819-7663-2023-23-1-21-30.
- Зорина С.О., Никашин К.И., Афанасьева Н.И., Хамада Н. Микроструктуры на поверхности зерен кварца и происхождение палеогеновых песков Ульяновско-Сызранского Поволжья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2023. – Т. 165. – № 2. – С. 295–307. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.2.295-307.
- Hamada N., Zorina S.O., Mohammad N. Quartz grain microtextures in the Paleogene Sosnov formation: implications for sediment provenance in the eastern Russian platform // Известия Уральского государственного горного университета. – 2023. – № 4(72). – С. 7–18. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-4-7-18.
- Унифицированная стратиграфическая схема палеогеновых отложений Поволжско-Прикаспийского субрегиона / Ред. М.А. Ахметьев, С.М. Шик, А.С. Алексеев. – М.: ВНИГНИ, 2015. – 96 с.
- Кузьмин А.Н., Кириков В.П., Лукьянова Н.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Центрально-Европейская. Лист N-38 – Пенза. Объяснительная записка / Минприроды России, Роснедра, ФГБУ «ВСЕГЕИ». – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 406 с.
- Электронный каталог ГГК-200. – URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/index.html/>. – Дата обращения 24.11.2022.

References

1. Biryulev G.N. Glass raw material base of the Russian Federation: conditions, use and prospects of development. *Georesources*. 2015;(4):21–24.
2. Sostoyaniye i kharakteristika resursnoi bazy uglevodorodnogo syr'ya i tverdykh poleznykh iskopaemykh v Privolzhskom federal'nom okruge po sostoyaniyu na 01.01.2018 g. [Status and characteristics of the resource base of hydrocarbons and solid minerals in the Volga Federal District as of 01.01.2018]. — Available at: <https://pfo.rosnedra.gov.ru/page/150.html?mm=511&ml=414> (accessed 18.07.2024).
3. Aksenov E.M., Biryulev G.N., Distanov U.G., Kandaurov P.M. Mineral'no-syr'evaya baza stekol'noi promyshlennosti Rossii: sostoyaniye i perspektivy razvitiya [Mineral raw material base of the glass industry of Russia: status and prospects of development]. *Glass of Russia*. 2011;(3):24–26.
4. Afanas'eva N.I., Zorina S.O., Nikashin K.I., Khamada N. Paleogene sand injectites of the Uljanovsk-Syzran Volga region (eastern Russian platform). *News of the Ural State Mining University*. 2023;(1):46–56. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-1-45-56.
5. Zorina S.O., Afanasieva N.I., Hamada N., Nikashin K.I., Sokerin M.Yu. Paleogene quartz sandstones of the Sosnovka formation of the Uljanovsk-Syzran Volga region (eastern Russian platform): mineral composition and origin. *Izvestiya of Saratov University. Earth sciences*. 2023;23(1):21–30. DOI: 10.18500/1819-7663-2023-23-1-21-30.
6. Zorina S.O., Nikashin K.I., Afanasieva N.I., Hamada N. Surface microtextures of quartz grains and origin of the Paleogene sands in the Ulyanovsk-Syzran Volga region. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*. 2023;165(2):295–307. DOI: 10.26907/2542-064X.2023.2.295-307.
7. Hamada N., Zorina S.O., Mohammad N. Quartz Grain Microtextures in the Paleogene Sosnov Formation: Implications for Sediment Provenance in the Eastern Russian Platform. *News of the Ural State Mining University*. 2023;(4):7–18. DOI: 10.21440/2307-2091-2023-4-7-18.
8. Akhmet'ev M.A., Shik S.M., Alekseev A.S. (eds.) Unifitsirovannaya stratigraficheskaya skhema paleogenovykh otlozhenii Povolzhsko-Prikaspiiskogo subregiona [Unified stratigraphic scheme of Paleogene deposits of the Volga-Pre-Caspian subregion]. Moscow: VNIGNI; 2015. 96 p.
9. Kuz'min A.N., Kirikov V.P., Luk'yanova N.V. et al. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Tsentral'no-Evropeiskaya. List N-38 — Penza. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geologic map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1 000 000. Third Generation. Central European Series. Sheet N-38 — Penza. Explanatory note]. St. Petersburg: VSEGEI; 2019. 406 p.
10. Electronic catalog GKG-200. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/index.html/>. Date of request 24.11.2022.

Статья поступила в редакцию 03.03.2024 г., одобрена после рецензирования 21.06.2024 г., принята к публикации 01.07.2024 г.
The article was submitted 03.03.2024; approved after reviewing 21.06.2024; accepted for publication 01.07.2024.

Информация об авторах

Никашин Константин Игоревич

Аспирант, младший научный сотрудник
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008 Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5
e-mail: kostya97@inbox.ru
ORCID: 0000-0002-4749-9895
ResearcherID: AAQ-3492-2021
AuthorID: 57204466949
AuthorID: 168297
SPIN: 9668-1451

Зорина Светлана Олеговна

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры
палеонтологии и стратиграфии
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008 Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5
e-mail: svzorina@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6315-1672
ResearcherID: L-5404-2013
AuthorID: 25634998400
AuthorID: 1014312
SPIN: 1312-3910

Information about authors

Konstantin I. Nikashin

PhD student, Junior Researcher
Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum
Technologies
4/5, Kremlyovskaya str., Kazan, 420008, Russia
e-mail: kostya97@inbox.ru
ORCID: 0000-0002-4749-9895
ResearcherID: AAQ-3492-2021
AuthorID: 57204466949
AuthorID: 168297
SPIN: 9668-1451

Svetlana O. Zorina

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor
of the Department of Paleontology and Stratigraphy
Kazan Federal University, Institute of Geology and Petroleum
Technologies
4/5, Kremlyovskaya str., Kazan, 420008, Russia
e-mail: svzorina@yandex.ru
ORCID: 0000-0001-6315-1672
ResearcherID: L-5404-2013
AuthorID: 25634998400
AuthorID: 1014312
SPIN: 1312-3910