

# Песчаные интрузии в палеогеновых отложениях Ульяновско-Сызранского Поволжья (восток Русской плиты)

Надежда Иосифовна АФАНАСЬЕВА\*

Светлана Олеговна ЗОРИНА\*\*

Константин Игоревич НИКАШИН\*\*\*

Надя ХАМАДА\*\*\*\*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

## Аннотация

**Актуальность работы.** Кварцевые пески и песчаники сосновской толщи палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья активно разрабатываются в качестве многочисленных видов нерудного минерального сырья, особую ценность среди которых представляет стекольное кварцевое сырье. Это дефицитный вид минерального сырья федерального значения, потребление которого ежегодно увеличивается, но при этом возможности прогнозирования новых песчаных залежей на основе представлений о прибрежно-морском происхождении сосновской толщи практически исчерпаны.

**Целью работы** является рассмотрение сосновской толщи под новым ракурсом – в качестве комплекса песчаных интрузий и определение возможности повышения точности прогноза новых объектов песчаного сырья.

**Методы проведения работы.** Для обоснования генетического родства сосновских песков и базальных песков лукояновской свиты батского яруса проведено геохимическое изучение 35 проб песков обеих толщ методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и рентгено-флуоресцентного анализа. Проведено моделирование механизма образования сосновской толщи с построением пространственных моделей.

**Результаты работы.** Сосновская толща палеогена Ульяновско-Сызранского Поволжья рассмотрена под ракурсом комплекса песчаных интрузий, образование которых основано на внедрении песков из слоя-источника (базальных песков лукояновской свиты батского яруса средней юры) в опоково-диатомитовую палеогеновую толщу. Изучение элементно-геохимических особенностей песков сосновской толщи и песков лукояновской свиты бата – показало их сходство и высокую вероятность генетического родства. Определен тектонический триггер образования инжективов. Построенная трехмерная модель фрагмента сосновской толщи демонстрирует изменчивость морфологии песчаной залежи по латерали и вертикали.

**Выводы.** Геохимическое изучение сосновских и лукояновских песков позволяет дать положительный ответ на вопрос об их генетическом родстве. Тектоническим триггером для внедрения песчаных интрузий, вероятнее всего, послужила активизация Жигулевского разлома в позднем палеоцене. Пространственное моделирование песчаных залежей позволит повысить точность прогнозных построений и снять ограничения на расширение минерально-сырьевой базы стекольного и строительного песчаного сырья.

**Ключевые слова:** кварцевые пески, песчаники, стекольное сырье, сосновская толща, палеоцен, геохимия, пространственная модель, Ульяновско-Сызранское Поволжье, Русская плита.

## Введение

Стекольные кварцевые пески относятся к числу дефицитных видов минерального сырья федерального значения [1], потребление которых ежегодно увеличивается [2]. Месторождения стекольных песков, пригодных для использования в природном виде, встречаются крайне редко. К таковым относится уникальное Ташлинское месторождение (Ульяновская область), которое входит в тройку самых лучших и крупных объектов Европы, наряду с месторождением Гегенбок (Германия) и Фонтенбло (Франция) [3]. Ташлинские пески признаны наилучшими по качеству

стекольными песками в РФ в силу необыкновенной природной однородности состава, выраженной в отсутствии значимых примесей и наличии требуемых ГОСТами рабочих фракций песка. Всего в Приволжском федеральном округе учитываются 26 месторождений стекольных кварцевых песков, при этом основные запасы сосредоточены в Ульяновской области (66 % запасов округа) [4].

Известно, что стратиграфический критерий является одним из основных при поисках большинства видов полезных ископаемых осадочного генезиса [5].

✉ [n-afanasieva@rambler.ru](mailto:n-afanasieva@rambler.ru)

 <http://orcid.org/0000-0003-4335-9251>

\*\* [svzorina@yandex.ru](mailto:svzorina@yandex.ru)

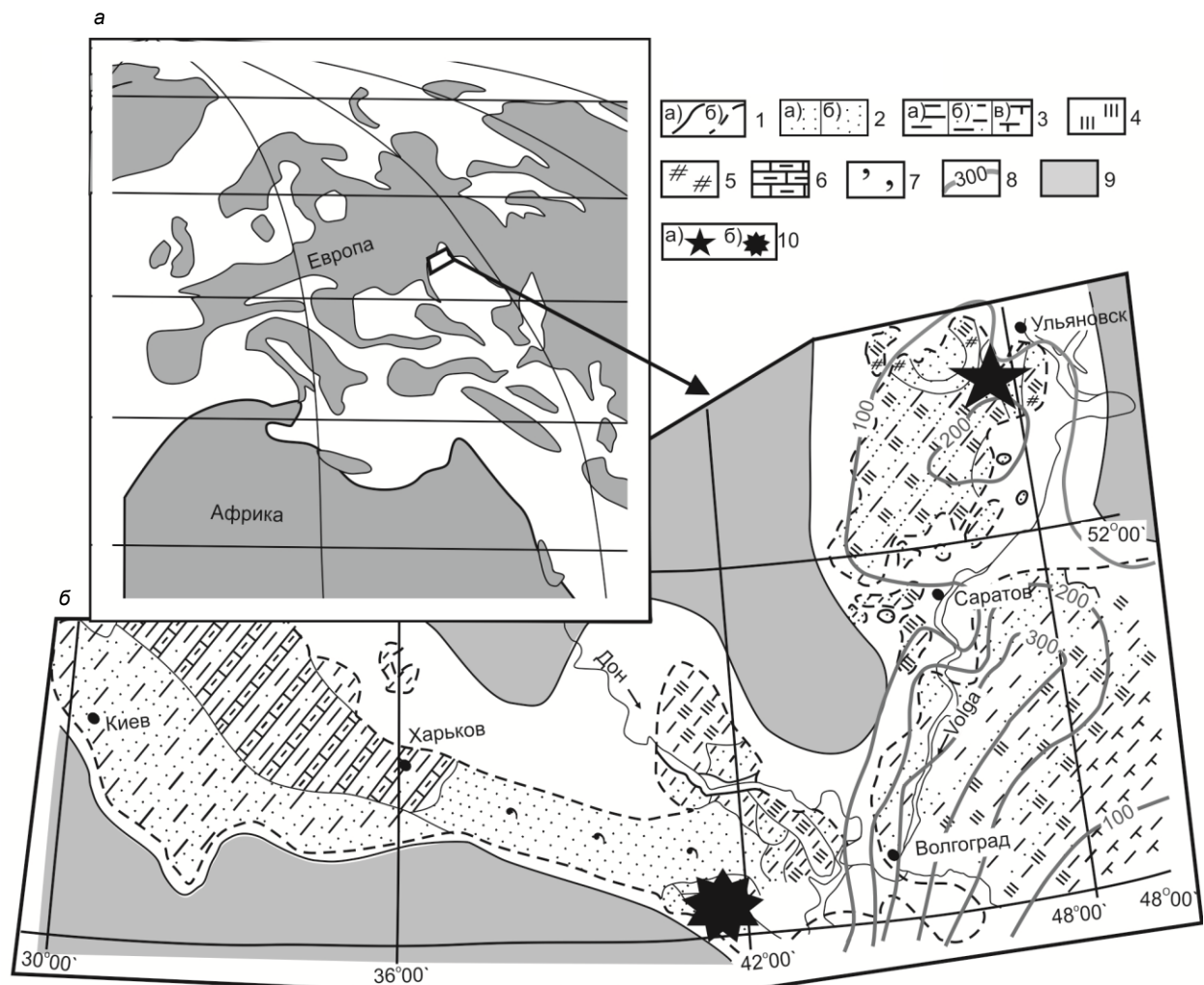
 <http://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

\*\*\* [kostya97@inbox.ru](mailto:kostya97@inbox.ru)

 <http://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

\*\*\*\* [nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com)

 <http://orcid.org/0000-0003-3269-6842>



**Рисунок 1. Местоположение разрезов бучакской свиты и сосновской толщи:** *a* – на палеогеографической карте (упрощено по [10]); *b* – на литолого-фациальной схеме палеоцена и эоцена востока и юга Русской плиты [11]; 1 – геологические границы: *a* – достоверные, *b* – предполагаемые; литология: 2*a* – песчаники, 2*b* – пески; 3*a* – глины, 3*b* – песчаные глины, 3*c* – известковые глины; 4 – опоки; 5 – диатомиты; 6 – мергели; 7 – глауконит; 8 – изопахиты палеоценовых и эоценовых отложений и мощность, м; 9 – области суши; 10 – изученные разрезы; 10*a* – Кучуровский карьер; 10*b* – Тарасовский карьер

**Figure 1. Location of sections of the Buchak Formation and Sosnovskaya strata:** *a* – on a paleogeographic map (simplified according to [10]); *b* – on the lithofacies scheme of the Paleocene and Eocene of the east and south of the Russian Plate [11]; 1 – geological boundaries: *a* – reliable, *b* – assumed; lithology: 2*a* – sandstones, 2*b* – sands; 3*a* – clays, 3*b* – sandy clays, 3*c* – calcareous clays; 4 – flasks; 5 – diatomites; 6 – marls; 7 – glauconite; 8 – isopachites of Paleocene and Eocene deposits and thickness, m; 9 – land areas; 10 – studied sections; 10*a* – Kuchurovsky quarry; 10*b* – Tarasovsky quarry

Именно со стратонами, сформировавшимися в морских и континентальных обстановках, связано размещение большинства геолого-промышленных типов неметаллов. Кварцевые стекольные пески Ульяновско-Сызранского Поволжья (УСП) не являются исключением. Их локализация четко связана с распространением определенного стратона – сосновской толщи палеогена [6], которая традиционно считалась прибрежно-морской фацией. Новые данные о крайне неравномерном строении сосновской толщи и ее сложном характере переслаивания с опоками и диатомитами смежных и перекрывающих стратонов [7] позволяют предполагать принципиально иной – «интрузивный» механизм образования сосновских песков.

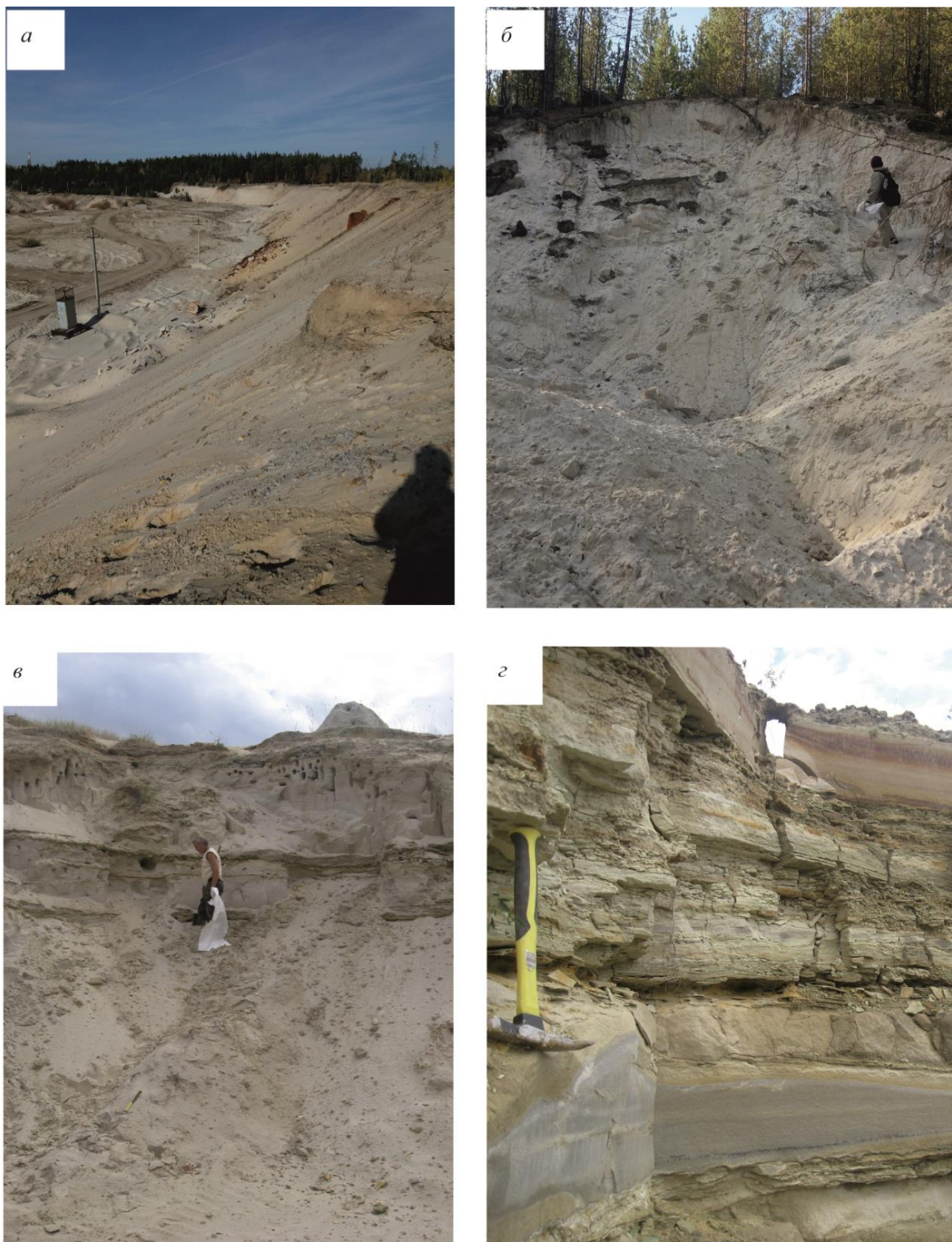
Ранее [7] нами выдвигалось предположение, что вероятным слоем-источником сосновских песков являются базальные пески лукояновской свиты батского яруса средней юры. Основанием для этого послужила

установленная сходимость минерального состава тяжелых фракций, выраженная в весовых содержаниях минералов титана и циркония (циркона, ильменита, лейкоксена, рутила, сфена) в песках обоих стратонов. Этот факт позволяет с высокой степенью вероятности говорить о генетическом родстве сосновских песков с лукояновскими. В рамках настоящего исследования предполагается обосновать данное предположение с привлечением результатов изучения сосновских и лукояновских пород методом элементной геохимии.

Кроме того, для решения вопроса повышения точности прогноза новых залежей сосновских песков в связи со сложной и изменчивой морфологией рассматриваемой толщи была поставлена задача визуализации пространственного положения конкретной залежи с построением 3D-модели в ГИС-среде.

**Строение сосновской толщи.** Известно, что кварцевые пески УСП разрабатываются с конца XVII в., а их





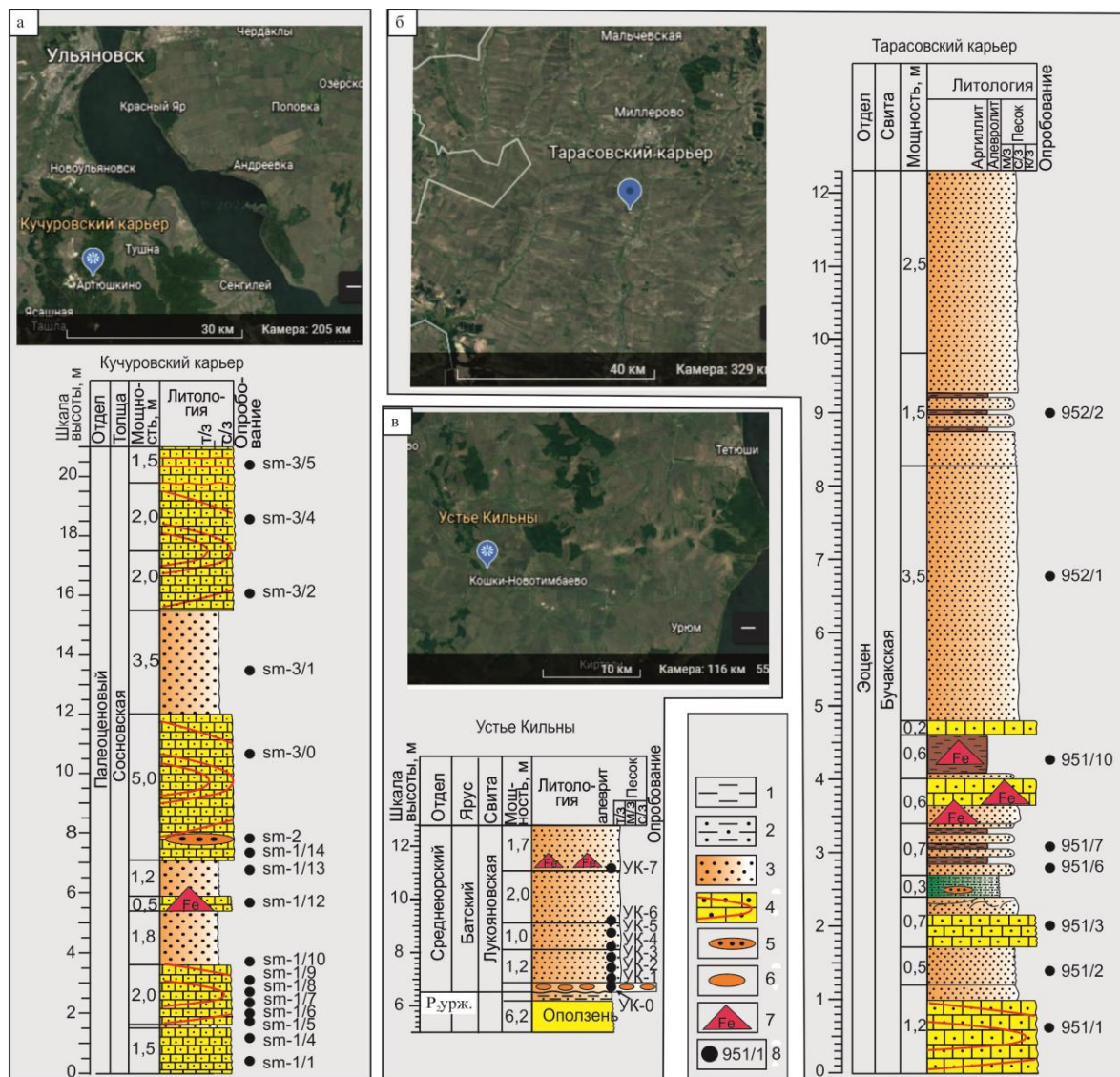
**Рисунок 2.** Карьеры по добыче песков и песчаников сосновской толщи (а, б) и бучакской свиты (в, г) палеогена: а – сосновские кварцевые пески в карьере Восточно-Ташлинского месторождения (Ульяновская область); б – сосновские пески в карьере Кучуровского месторождения (Ульяновская область); в – бучакские кварцевые пески Тарасовского месторождения (Ростовская область); г – бучакские сливные песчаники Тарасовского месторождения

**Figure 2.** Open pits for the extraction of sands and sandstones of the Sosnovskaya stratum (a, b) and the Buchak suite (c, d) of the Paleogene: a – Sosnovskaya quartz sands in the quarry of the Vostochno-Tashlinskoye deposit (Ulyanovsk region); b – pine sands in the quarry of the Kuchurovskoye deposit (Ulyanovsk region); c – Buchak quartz sands of the Tarasovskoye deposit (Rostov region); d – Buchak confluent sandstones of the Tarasovskoye deposit

систематическое литолого-стратиграфическое изучение проводится с конца XIX в. Сосновская толща распространена на востоке Русской плиты (РП), в УСП (рис. 1) и

представлена белыми, буровато-, розовато-белыми равномерно-мелкозернистыми кварцевыми песками. Мощность песков крайне не выдержана по простиранию (0–80 м) [6],





**Рисунок 3. Местоположение, геологическое строение и опробование изученных разрезов:** а – сосновская толща палеоцена в Кучуровском карьере (Ульяновская область); б – лукояновская свита верхнего бата средней юры в обнажении Устье Кильны (Республика Татарстан); в – бучакская свита эоцена в Тарасовском карьере (Ростовская область); 1 – глины; 2 – алевролиты; 3 – пески; 4 – песчаники конкреционные; 5 – линзы песков; 6 – валуны; 7 – железзение; 8 – пункт отбора пробы и ее номер

**Figure 3. Location, geological structure, and sampling of the studied sections:** a – Paleocene Sosnovskaya stratum in the Kuchurov quarry (Ulyanovsk region); b – Upper Bathonian Lukoyanov suite, Middle Jurassic, outcrop at the mouth of the Kilna (Republic of Tatarstan); c – Buchak suite of the Eocene in the Tarasov Quarry (Rostov Region); 1 – clay; 2 – siltstones; 3 – sands; 4 – nodular sandstones; 5 – sand lenses; 6 – boulders; 7 – ferruginization; 8 – sampling point and its number

фациально они замещаются очень крепкими сливными кварцевыми песчаниками (мощностью от первых сантиметров до десятков метров) с опаловым и халцедоновым цементом [7–9] (рис. 2, а, б). Пески неравномерно переслаиваются с опоками нижнесызранской свиты, участками они залегают на маастрихтском мелу, но в основном подстилаются палеоценовыми нижнесызранскими опоками, которые прослеживаются практически повсеместно в УСП [6].

Аналоги сосновских песков и сливных песчаников развиты на юге РП, в Днепрово-Донецкой впадине (рис. 1), а также на прилегающих территориях Общего Сырта, Примугоджарья и Приаралья [9], где их мощность достигает 150 м. Так, в междуречье Днепра и Дона выделяется каневско-бучакская толща ипра-лутета, представленная песками и сливными песчаниками [12] (рис. 2, в, г), кото-

рая, предположительно, является объектом-аналогом сосновской толщи УСП [13].

**Материалы и методы**

При проведении полевых работ в 2021–2022 гг. авторами было проведено геологическое изучение и опробование песков сосновской толщи в Кучуровском карьере и базальных песчаников лукояновской свиты в обнажении Устье Кильны (рис. 3).

Недействующий Кучуровский карьер по добыче песчаников сосновской толщи расположен в Сенгилеевском районе Ульяновской области, в 26 км западнее г. Сенгилей (рис. 3, а). В западной стенке карьера был задокументирован фрагмент сосновской толщи мощностью 21 м, представленный чередованием песков желтовато- и розовато-серых, кварцевых, тонко-мелкозернистых, рыхлых,

Таблица 1. Микроэлементный состав и геохимические индексы пород сосновской толщи, бучакской и лукояновской свит  
 Table 1. Trace element composition and geochemical indices of rocks of the Sosnovskaya stratum, Buchakskaya and Lukoyanovskaya suites

Стратон	Номера проб	Литология	Sc, ppm	Ti, ppm	Cr, ppm	Co, ppm	Y, ppm	Zr, ppm	La, ppm	Hf, ppm	Th, ppm	Zr/10	Ti/Zr	La/Sc	La/Th
Сосновская толща	Sm-1/1	Песчаник	0,11	172,64	9,89	0,72	0,84	14,26	1,11	0,35	0,23	1,43	12,10	10,10	4,80
	Sm-1/4	Песчаник	0,38	349,47	11,47	0,67	1,12	18,75	1,63	0,48	0,33	1,88	18,60	4,30	4,94
	Sm-1/5	Песчаник	0,37	228,32	10,01	0,96	1,16	19,78	1,73	0,48	0,29	1,98	11,50	4,70	6,05
	Sm-1/6	Песчаник	0,34	222,51	9,58	2,29	1,15	21,05	1,46	0,50	0,30	2,11	10,60	4,20	4,91
	Sm-1/7	Песчаник	0,30	196,98	8,19	1,35	1,03	15,13	1,24	0,39	0,25	1,51	13,00	4,10	4,98
	Sm-1/8	Песчаник	0,13	289,69	7,16	1,84	0,87	16,44	1,25	0,40	0,26	1,64	17,60	9,30	4,82
	Sm-1/9	Песчаник	0,09	157,32	7,96	0,37	0,59	12,11	0,75	0,31	0,20	1,21	13,00	8,10	3,84
	Sm-1/10	Песок	0,27	252,70	7,80	1,10	0,87	19,27	1,25	0,48	0,27	1,93	13,10	4,70	4,60
	Sm-1/12	Песчаник	0,20	174,23	7,34	0,36	0,76	14,03	1,29	0,36	0,20	1,40	12,40	6,60	6,58
	Sm-1/13	Песок	0,21	233,26	9,25	0,39	0,94	18,17	1,36	0,45	0,27	1,82	12,80	6,60	5,03
	Sm-1/14	Песчаник	0,37	135,29	8,01	0,33	0,66	13,78	1,23	0,30	0,21	1,38	9,80	3,30	5,96
	Sm-2	Песок	0,12	356,49	8,16	4,17	1,02	19,10	1,42	0,49	0,24	1,91	18,70	12,20	5,83
	Sm-3/0	Песчаник	0,14	146,21	7,41	1,09	0,66	11,94	1,01	0,30	0,18	1,19	12,20	7,10	5,69
	Sm-3/1	Песок	0,26	225,90	6,06	0,25	0,71	22,36	0,93	0,53	0,25	2,24	10,10	3,50	3,74
	Sm-3/2	Песчаник рыхлый	1,61	469,93	22,87	0,64	1,60	28,63	3,42	0,73	0,79	2,86	16,40	2,10	4,35
Sm-3/4	Песчаник рыхлый	1,66	191,76	11,20	1,36	2,96	16,17	2,35	0,45	0,50	1,62	11,90	1,40	4,68	
Sm-3/5	Песчаник	0,31	166,17	9,05	0,28	0,94	15,58	1,77	0,41	0,35	1,56	10,70	5,70	5,01	
Лукояновская свита	Kuch-1	Песок	0,32	196,30	7,38	0,20	0,78	18,20	0,73	0,46	0,29	1,82	10,80	2,30	2,51
	Kuch-2	Песчаник	0,85	159,55	8,11	0,29	0,54	66,40	0,59	0,94	0,19	6,64	2,40	0,70	3,09
	УК-0	Песчаник из валуна	13,83	2344,98	384,61	17,70	176,27	57,90	16,86	1,27	1,96	5,79	40,50	0,04	8,61
	УК-1	Песок глинистый	16,27	3433,59	300,49	22,41	140,21	77,79	9,93	1,72	2,37	7,78	44,10	0,05	4,18
	УК-2	Песок глинистый	16,96	3513,11	249,39	23,23	127,15	82,30	13,14	1,82	2,50	8,23	42,70	0,07	5,25
	УК-3	Песок глинистый	17,52	3045,92	167,03	20,19	129,32	78,90	10,82	1,79	2,24	7,89	38,60	0,10	4,83
	УК-4	Песок глинистый	17,83	3591,23	258,53	23,37	136,94	80,85	12,76	1,67	2,46	8,09	44,40	0,07	5,19
УК-5	Песок глинистый	16,73	3203,24	215,98	20,95	135,59	73,11	12,82	1,67	2,44	7,31	43,80	0,08	5,26	
УК-6	Песок глинистый	10,04	2079,66	221,31	13,27	103,99	83,84	10,51	1,77	2,07	8,38	24,80	0,05	5,09	
УК-7	Песок глинистый	14,79	3472,05	327,44	42,96	113,16	109,99	22,36	2,54	5,41	11,00	31,60	0,05	4,13	
Бучакская свита	951/1	Песчаник сливной	1,30	531,70	30,68	1,46	3,68	36,18	8,60	1,11	1,41	3,62	14,69	6,60	6,08
	951/2	Песок	0,21	274,90	7,39	0,32	1,28	19,27	2,43	0,59	0,52	1,93	14,26	11,70	4,69
	951/3	Песчаник	0,62	387,80	13,08	0,79	2,76	24,98	5,45	0,76	1,00	2,50	15,53	8,86	5,45
	951/6	Песчаник	0,66	430,10	7,90	0,33	1,67	28,92	3,61	0,85	0,71	2,89	14,87	5,44	5,06
	951/7	Песчаник глинистый	1,26	594,70	346,56	1,85	2,83	29,93	5,71	0,92	1,26	2,99	19,87	4,53	4,53
	951/10	Песчаник глинистый	2,77	1185,50	33,59	1,50	5,77	61,65	12,25	1,84	3,03	6,17	19,23	4,42	4,05
952/1	Песок	0,37	558,00	14,60	0,87	1,75	30,69	2,47	0,87	0,69	3,07	18,18	6,60	3,58	
952/2	Песок	8,23	2810,40	297,48	16,22	21,23	128,31	33,56	3,85	8,31	12,83	21,90	4,08	4,04	

неслоистых (мощностью 0,1–3,5 м) и песчаников серых, кварцевых, конкреционных, очень крепких, с гиганто-раковистой поверхностью скола (мощностью 0,4–5 м). Для проведения геохимического анализа было отобрано 19 проб.

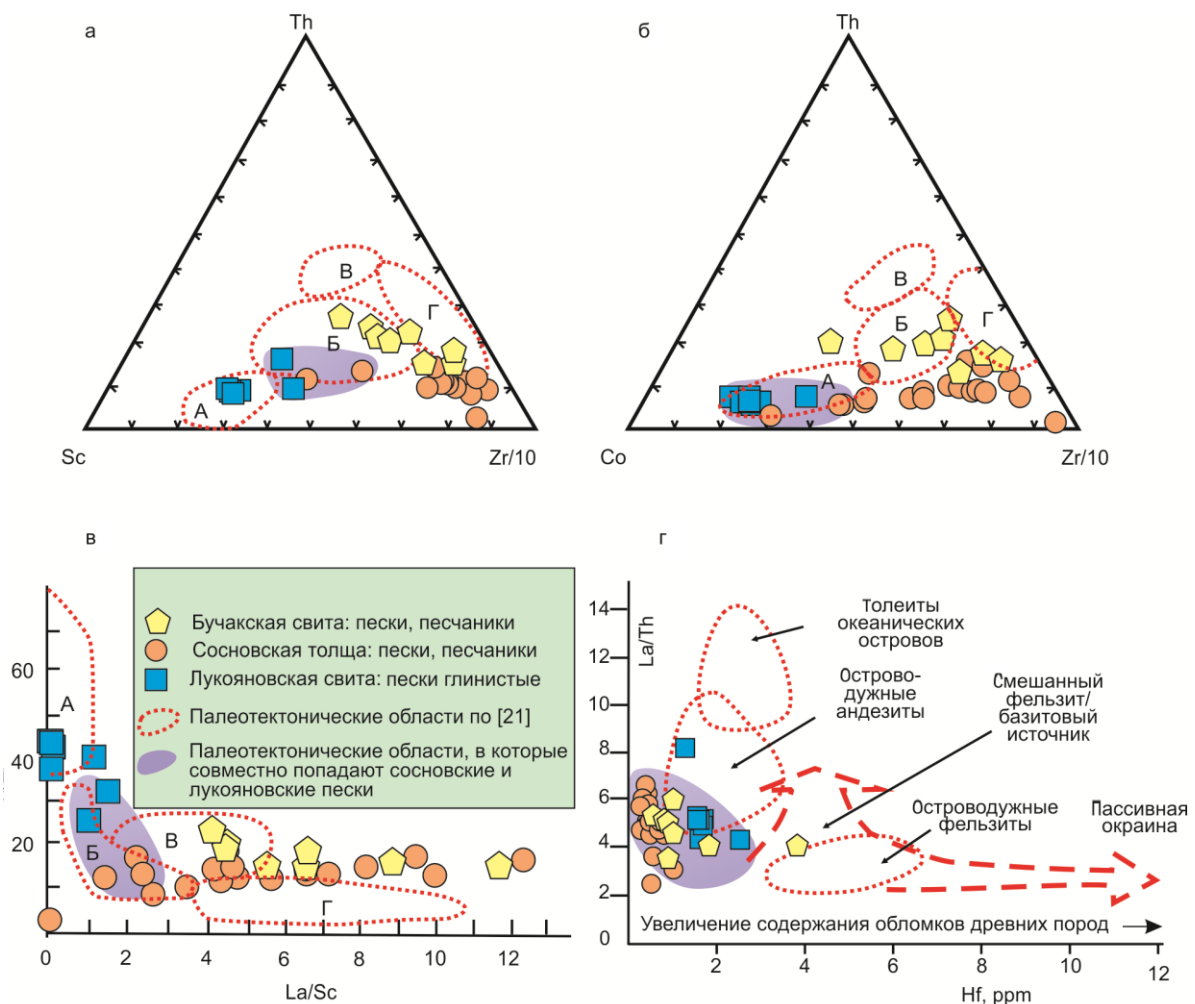
Обнажение песчаников лукояновской свиты верхне-батского подъяруса средней юры Устье Кильны расположено в Тетюшском районе Татарстана, в 25 км юго-западнее г. Тетюши (рис. 3, в). На элювированной поверхности алевролитов уржумского яруса средней перми залегают пески зеленовато-серые, тонкозернистые алевритистые, плотные, мощностью 5,2 м, они согласно перекрыты темно-серыми лукояновскими глинами. Для проведения геохимического анализа из песков было отобрано 8 проб.

Ранее, в 2012 г., авторами был изучен фрагмент бучакской свиты эоцена в карьере Тарасовского месторождения песков и песчаников (Ростовская область) (рис. 3, в). Свита представлена песчаниками зеленовато-светло-серыми, кварцевыми, окремненными, сливными, конкреционно-слоистыми, с гиганто-раковистой поверхностью скола (мощностью 0,2–1,2 м) с прослоями сильно ожелезненных аргиллитоподобных конкреционно-корочковидных алевролитов (мощностью

0,3–0,6 м) и песками кремово-белыми, мелкозернистыми, кварцевыми, участками слоистыми (мощностью 0,5–7,5 м) с редкими прослоями зеленовато-серых бентонитоподобных глин (мощностью 5–25 см). Для изучения геохимических особенностей пород было отобрано 8 проб (рис. 3, в).

Геохимическое изучение 35 проб проведено методами масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Микро- и макроэлементный состав образцов определялся на изотопном масс-спектрометре iCAP Qc (Thermo Fisher Scientific) и рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker) соответственно. Аналитические работы выполнены в лабораториях ИГиНГТ КФУ. Обработка концентраций элементов проведена с использованием палеотектонических дискриминантных диаграмм.

В основу построения трехмерной модели сосновской толщи положены фактические данные о распространении, мощности и стратиграфическом положении ее кровли и подошвы, приведенные в 20 производственных отчетах и материалах изданных цифровых комплектов госгеолкарт 200/3. Построение осуществлялось в программном комплексе ArcGIS и в свободно распространяемой про-



**Рисунок 4. Распределение фигуративных точек на палеогеодинамических дискриминантных диаграммах:** а – Sc–Th–Zr/10 [19]; б – Co–Th–Zr/10 [19]; в – Ti/Zr–La/Sc [19]; г – La/Th–Hf [20]. Палеотектонические области: А – океаническая островная дуга; Б – континентальная островная дуга; В – активная континентальная окраина; Г – пассивная окраина [21]

**Figure 4. Distribution of figurative points on paleogeodynamic discriminant diagrams:** а – Sc–Th–Zr/10 [19]; б – Co–Th–Zr/10 [19]; в – Ti/Zr–La/Sc [19]; г – La/Th–Hf [20]. Paleotectonic regions: А – oceanic island arc; Б – continental island arc; В – active continental margin; Г – passive margin [21]



грамме Blender. На первом этапе в программе ArcMap на основе геологических карт, скважинных данных и данных из обнажений производилось оконтуривание песчаной залежи. Полученные данные экспортировались в Blender, где на их основе строились серии продольных и поперечных разрезов для каждого тела. На завершающем этапе данные разрезов интерполировались, что позволило получить трехмерные модели изучаемых тел.

#### Результаты и обсуждение

##### Песчаные интрузии и механизм их образования.

В российской геологической литературе данных о песчаных интрузиях крайне мало. Имеются сведения о песчаниковых силлах, образовавшихся в результате перемещения песка, насыщенного подземными водами [14]. В зарубежных публикациях песчаные инъектиты (sand injectites) определены как структуры, образующиеся в результате внедрения флюидизированных песков в вышележащие пласты под воздействием избыточного давления [15, 16]. В конце XX в. была установлена приуроченность к ним залежей углеводородов в Североморской и многих других нефтегазоносных провинциях [15, 17].

При образовании песчаных интрузий и экструзий должно соблюдаться несколько важных условий [15–18]. Источник песчаного материала залегает на значительной глубине, а вмещающими породами непременно должны быть глинистые (слабопроницаемые) осадки, так как при уплотнении они становятся более вязкими и более прочными на разрыв [17]. Внедрение несцементированных флюидизированных песков и формирование интрузивных тел возможно именно в таких породах.

**Геохимические особенности сосновских и лукояновских песков.** Проведенное геохимическое изучение сосновских и лукояновских песков позволяет дать положительный ответ на вопрос об их генетическом родстве. Вполне естественно, что пески этих толщ должны иметь существенные геохимические различия в силу их разного возраста и стратиграфического положения. Поэтому в ходе исследования решалась сложная задача поиска индикативных геохимических отношений, позволяющих выявить геохимические признаки сходства рассматриваемых толщ. Концентрации отдельных микроэлементов в песках и песчаниках сосновской толщи, бучакской и лукояновской свит и значения рассчитанных индексов приведены в табл. 1.

Одним из самых показательных инструментов оказался провенантный анализ с использованием палеотектонических дискриминантных диаграмм (рис. 4). На треугольных диаграммах Sc–Th–Zr/10 и Co–Th–Zr/10 [19] (рис. 4, а, б) фигуративные точки сосновской толщи в основном сгруппированы у пассивной окраины, но отдельные пробы попали в области континентальной (рис. 4, а) и океанической островных дуг (рис. 4, б).

Фигуративные точки лукояновской свиты сгруппированы преимущественно в области океанической островной дуги, отдельные пробы – в области континентальной дуги (рис. 4, а). Отчетливо проявлены области совместного расположения ряда точек обеих толщ, приуроченные к областям континентальной (рис. 4, а) и океанической островных дуг (рис. 4, б).

На дискриминантной диаграмме Ti/Zr–La/Sc [19] (рис. 4, в) точки сосновской толщи рассеяны по всем обла-

стям, кроме океанической островной дуги, тогда как точки лукояновской свиты в основном сгруппированы в зоне океанической дуги. При этом отдельные лукояновские пробы попадают в область континентальной островной дуги, где образуют область совместного нахождения с отдельными пробами сосновской толщи.

Наиболее показательной оказалась диаграмма La/Th–Hf [20] (рис. 4, з), так как на ней практически все исследованные пробы сосновской толщи, бучакской и лукояновской свит сгруппировались вблизи одной области – островодужных андезитов. Примечательны низкие концентрации Hf во всех пробах (не более 2,5 ppm), которые свидетельствуют об отсутствии в породах обоих стратонов рециркулированного (древнего) материала [20]. Исходя из данной диаграммы, можно заключить, что в породах всех рассмотренных стратонов присутствует свежий вулканогенный материал базитового состава. Данный факт говорит в пользу генетического родства сосновской толщи и лукояновской свиты.

Таким образом, на всех дискриминантных палеогеодинимических диаграммах Sc–Th–Zr/10, Co–Th–Zr/10, Ti/Zr–La/Sc [19] и La/Th–Hf [20] выявлены области совместного расположения фигуративных точек сосновской толщи и лукояновской свиты (континентальной и океанской островных дуг), подтверждающие геохимическое сходство питающих провинций этих стратонов.

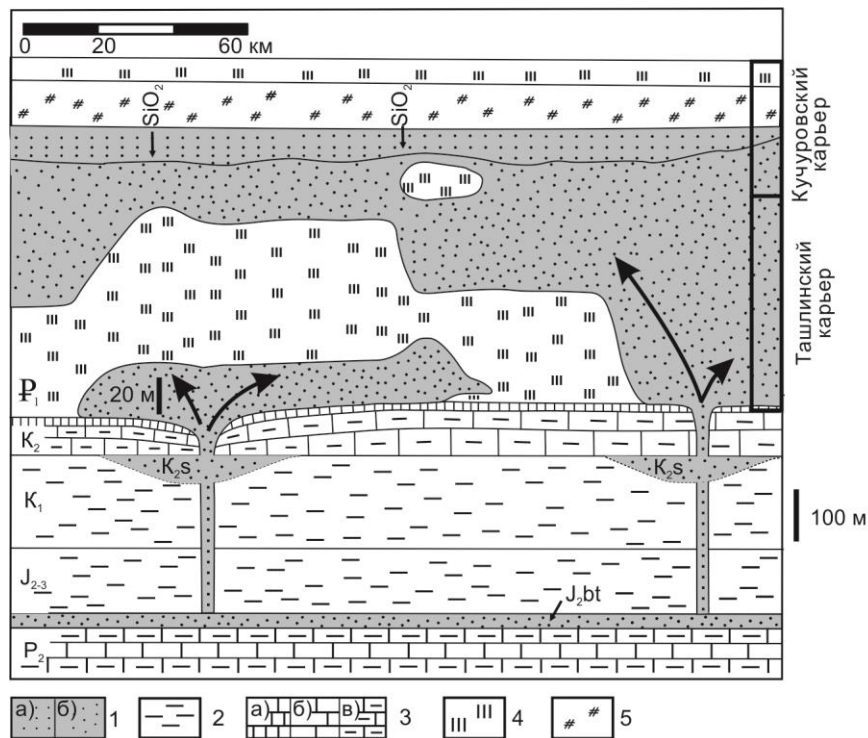
##### Моделирование механизма образования сосновской толщи.

Недавно проведенными исследованиями [7, 13] было показано, что наиболее вероятным механизмом образования сосновской толщи является внедрение песчаных интрузий в нижнепалеогеновую опоково-диатомитовую толщу. Источником песчаного материала, залегающего на значительной глубине (300–500 м), могли служить кварцевые пески лукояновской свиты батского яруса [7] (рис. 5), имеющие минералогическое и, как выяснилось в ходе настоящего исследования, геохимическое сходство с песками сосновской толщи.

Ранее выдвигалось предположение, что «спусковым механизмом» выдавливания песчаных масс послужило образование субвертикальных трещин в карбонатно-глинистой юрско-меловой толще, по-видимому, вследствие активизации в палеоцене Пачелмского авлакогена [13, 22], структуры которого осложняют кристаллический фундамент непосредственно в зоне развития сосновских песков. Данное предположение находит свое подтверждение в материалах изданных листов госгеолкарты-200/3 N-38-XXV (Сызрань) [23] и N-38-XXX (Новоспасское) [24].

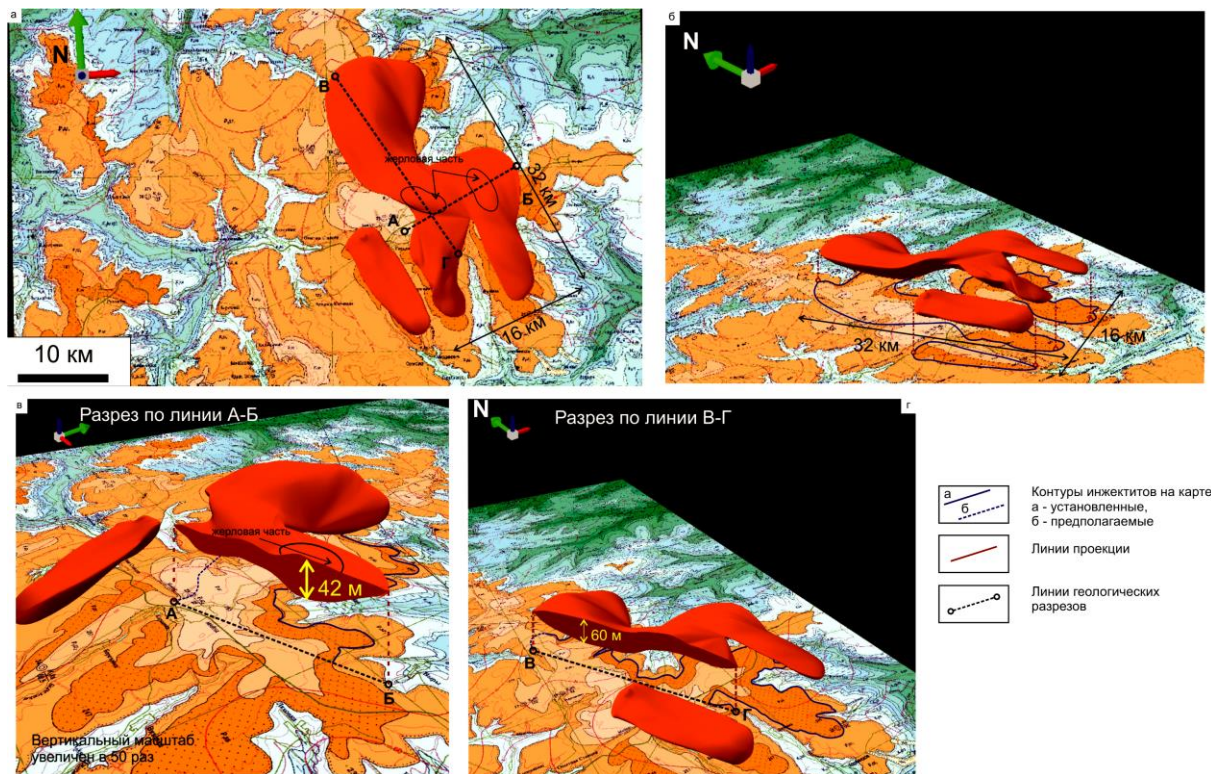
По данным [23], в конце палеоцена Жигулевско-Пугачевский свод испытал значительный подъем, который фиксируется взбросом с амплитудой до 350–450 м. Амплитуда взброшенного крыла по поверхности кристаллического фундамента составляет около 400 м. В районе Сызранской структуры, судя по сопоставлению данных скважин № 59 и 152, амплитуда вертикального перемещения смежных блоков кристаллического фундамента составляет 719 м [23]. Не вызывает сомнений, что образование в палеоцене Жигулевского взброса такой высокой амплитуды могло быть триггером внедрения песчаных палеогеновых интрузий на территории УСП.

Инъектный механизм образования сосновской толщи предопределяет крайне изменчивую морфологию песчаной



**Рисунок 5. Литолого-генетическая инъектная модель образования сосновской толщи (по [7] с дополнениями):** 1а – песчаник; 1б – песок; 2 – глина; 3а – мел; 3б – известняк; 3в – мергель; 4 – опока; 5 – диатомит. Геологические индексы отложений: P<sub>2</sub> – среднепермские, J<sub>2,3</sub> – батский ярус средней юры, J<sub>2-3</sub> – средне-верхнеюрские, K<sub>1</sub> – нижнемеловые, K<sub>2s</sub> – сеноманский ярус верхнего мелового, K<sub>2</sub> – верхнемеловые, P<sub>1</sub> – палеоценовые

**Figure 5. Lithological-genetic injection model of the formation of the Sosnovskaya stratum (according to [7] with additions):** 1a – sandstone; 1b – sand; 2 – clay; 3a – chalk; 3b – limestone; 3c – marl; 4 – flask; 5 – diatomite. Geological indices of deposits: P<sub>2</sub> – Middle Permian, J<sub>2,3</sub> – Bathonian stage of the Middle Jurassic, J<sub>2-3</sub> – Middle-Upper Jurassic, K<sub>1</sub> – Lower Cretaceous, K<sub>2s</sub> – Cenomanian stage of the Upper Cretaceous, K<sub>2</sub> – Upper Cretaceous, P<sub>1</sub> – Paleocene



**Рисунок 6. Трехмерная модель фрагмента сосновской толщи (Майнский инъектит):** а – проекция модели на геологическую карту ГГК-200/3 листа N-38-XVIII [25]; б – перспективный ракурс модели; в, д – профили по линиям А–Б и В–Г

**Figure 6. Three-dimensional model of a fragment of the Sosnovskaya stratum (Mainskiy injectite):** а – projection of the model on the geological map GГК-200/3 sheet N-38-XVIII [25]; б – perspective view of the model; в, д – profiles along lines А–Б and В–Г



залежи. Это наглядно демонстрируют пространственные модели толщи (рис. 6). Поэтому, на наш взгляд, очевидно, что проведение прогнозных построений и последующих поисково-оценочных и разведочных работ на стекольное и строительное сырье целесообразно проводить с использованием 3D-модели конкретной залежи.

#### Заключение

Сосновская толща палеогена УСП рассмотрена под ракурсом комплекса песчаных интрузий, образование которых основано на внедрении песков из слоя-источника (предположительно – базальных песков лукояновской свиты батского яруса средней юры) в опоково-диатомитовую палеогеновую толщу.

Геохимическое изучение сосновских и лукояновских песков позволяет дать положительный ответ на вопрос об

их генетическом родстве и, следовательно, получить дополнительные данные в пользу признания лукояновской свиты верхнего бата слоем-источником.

Триггером для внедрения песчаных интрузий, вероятнее всего, послужила активизация Жигулевского разлома в позднем палеоцене.

Комплекс сосновских песчаных интрузий может быть рассмотрен в качестве новой научной основы для проведения прогнозных работ на песчаное сырье. Учитывая крайне изменчивую морфологию песчаной залежи, проведение прогнозных построений и последующих геологоразведочных работ на стекольное и строительное сырье целесообразно проводить с использованием 3D-модели конкретной залежи.

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 22 декабря 2018 г. № 2914-р / Минприроды РФ, 2018. <http://government.ru/docs/35247/>
2. Бирюлев Г. Н., Тохтасьев В. С., Ефремов А. Н., Кандауров П. М. О состоянии и перспективах развития минерально-сырьевой базы для стекольной промышленности // Разведка и охрана недр. 2012. № 5. С. 20–24.
3. Бирюлев Г. Н. Минерально-сырьевая база стекольного сырья Российской Федерации: состояние, использование, перспективы развития // Георесурсы. 2015. № 4. Вып. 63. С. 21–24. <http://dx.doi.org/10.18599/grs.63.4.3>
4. Состояние и характеристика ресурсной базы углеводородного сырья и твердых полезных ископаемых в Приволжском федеральном округе по состоянию на 01.01.2018 г. <https://pfo.rosnedra.gov.ru/page/150.html?mm=511&ml=414>
5. Минерация осадочного чехла востока Русской платформы / У. Г. Дистанов [и др.]. Казань: Плутон, 2004. 352 с.
6. Ахметьев М. А., Шик С. М., Алексеев А. С. (ред.) Унифицированная стратиграфическая схема палеогеновых отложений Поволжско-Прикаспийского субрегиона. М.: ВНИГНИ, 2015. 96 с.
7. Zorina S. O., Afanasyeva N. I. The sand injectites in the Russian Platform's Paleogene sediments // Stratigraphy and Sedimentology of Oil-Gas Basins. 2012. Vol. 2. P. 35–48.
8. Дистанов У. Г., Гимадеев Р. А. Песчаники палеогена Ульяновского Поволжья, их состав и свойства // Стратиграфия, палеогеография и полезные ископаемые кайнозой Среднего Поволжья. Казань: труды Геологического института, 1968. Вып. 19. С. 156–168.
9. Муравьев В. И., Цеховский Ю. Г., Каледа К. Г., Бабушкин Д. А., Суворов А. И. Процессы окремнения в палеогеновых песчаниках Восточно-Европейской платформы // Литология и полезные ископаемые. 1997. № 2. С. 150–162.
10. Scotese C. R. The PALEOMAP Project PaleoAtlas for ArcGIS. 2014. Ver. 2. Vol. 1. Cenozoic Plate Tectonic, Paleogeographic, and Paleoclimatic Reconstructions. Maps 1–15. PALEOMAP Project. Evanston, IL.
11. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР / А. П. Виноградов (гл. ред.). Т. 4. Палеогеновый, неогеновый и четвертичный периоды. М.: Мингео СССР, 1967. 55 карт.
12. Горбаткина Т. Е., Иосифова Ю. И. Новые стратиграфические подразделения палеогена Воронежской антеклизы – воробьевская и пасековская свиты // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер: Геология. 2004. № 2. С. 28–44.
13. Зорина С. О., Афанасьева Н. И., Хайртдинова Л. Р. Событийная модель образования палеоцен-эоценовой песчано-глинисто-силициевой толщи Русской плиты // Докл. Академии наук. 2018. Т. 480. № 1. С. 60–63. <http://doi.org/10.7868/S0869565218130121>
14. Геологический словарь. В 3 т. / гл. ред. О. В. Петров. СПб: ВСЕГЕИ, 2011. Т. 2. 476 с.
15. Subsurface sand remobilization and injection / S. Silcock, M. Huuse, M. Bowman, A. Hurst, S. Cobain (eds). London: The Geological Society, 2021. No. 493. 320 p. <https://doi.org/10.1144/SP493>
16. Madon M. Sand injectites in the West Crocker Formation, Kota Kinabalu, Sabah // Bulletin of the Geological Society of Malaysia. 2020. Vol. 69. P. 11–26. <https://doi.org/10.7186/bgsm69202002>
17. Ross J. A., Peakall J., Keevil G. M. An integrated model of extrusive sand injectites in cohesionless sediments // Sedimentology. 2011. Vol. 58. Issue 7. P. 1693–1715. <http://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01230.x>
18. Monnier D., Gay A., Imbert P., Cavailhes T., Soliva R., Lopez M. Sand injectites network as a marker of the palaeo-stress field, the structural framework and the distance to the sand source: Example in the Vocontian Basin, SE France // Journal of Structural Geology. 2015. Vol. 79. P. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.07.001>
19. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1986. Vol. 92. P. 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>
20. Floyd P. A., Leveridge B. E. Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // Journal of the Geological Society. 1987. Vol. 144. P. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
21. Bhatia M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. Vol. 91. No. 6. P. 611–627. <http://dx.doi.org/10.1086/628815>
22. Кузнецов В. Г. Некоторые особенности развития Прикаспийской впадины // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности: сборник статей / А. Н. Дмитриевский (ред.). М.: Наука, 2000. С. 81–90.
23. Давлетшин К. А., Косов С. А., Доронина А. П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Сер. Средневожжская. Лист N-39-XXV (Сызрань): объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2017. 92 с. МПР России, ГГП «Волгагеология». URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-39/n-39-25/index.html>
24. Никитин В. Н., Бурнаев В. С., Жукова Г. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Сер. Средневожжская. Лист N-38-XXX (Новоспасское): объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-38/n-38-30/index.html>
25. Жукова Г. А., Турова А. В., Каримова Х. Х. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Сер. Средневожжская. Лист N-38-XVIII (Майна): объяснит. записка. М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 151 с. URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-38/n-38-30/index.html>

*Статья поступила в редакцию 26 декабря 2022 года*

# Paleogene sand injectites of the Uljanovsk-Syzran Volga region (eastern Russian platform)

Nadezhda Iosifovna AFANAS'EVA\*

Svetlana Olegovna ZORINA\*\*

Konstantin Igorevich NIKASHIN\*\*\*

Nadiya KHAMADA\*\*\*\*

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia

## Abstract

**Relevance of the work.** The Paleogene quartz sandstones of the Sosnov Formation that occurred in the Ulyanovsk-Syzran Volga region are known as a valuable source of glass raw materials being considered a scarce raw material of federal significance. But, predicting new deposits based on ideas of the coastal-marine origin of the Sosnov sands exhausted possibilities.

**The purpose of the work.** The main aim of the work is to consider the Sosnov Formation is a complex of sand intrusions. The second one is to determine the possibility of improving the accuracy of forecasting new objects of sand raw materials.

**Methods.** 35 sand samples from the Sosnov and the Bathonian Lukojanov Formation are analyzed using the inductively coupled plasma mass spectrometry and X-ray fluorescence analysis. The 3D-model of the Sosnov strata is constructed.

**Results.** The Sosnov Formation is shown as a complex of sand injectites. The element geochemical study of the Sosnov and the Bathonian Lukojanov sands reveals a high possibility of their genetic similarity. The tectonic trigger of injectite formation is determined. The 3D-model of the Sosnov Formation constructed demonstrates the lateral and vertical variability of the sand deposit morphology.

**Conclusions.** The geochemical study of the Sosnov and Lukojanov sands reveals the latter could be considered a possible source layer due to the genetic similarity of both strata. The tectonic trigger for the formation of sand intrusions was, most likely, the Late Paleocene activation of the Zhigulevskii fault. 3D-modeling of a particular sand deposit could improve the accuracy of predictive constructions.

**Keywords:** quartz sands, sandstones, glass raw materials, Sosnov Formation, Paleocene, geochemistry, 3D-modeling, Uljanovsk-Syzran Volga Region, Russian Platform.

*The research is supported by the grant of the Russian Science Foundation (project no. 22-27-00070, <https://rscf.ru/en/project/22-27-00070>).*


## REFERENCES

- 2018, Strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2035. Order of the Government of the Russian Federation of December 22, 2018 No. 2914-r. Ministry of Natural Resources and ecology. <http://government.ru/docs/35247/> (In Russ.)
- Biryulev G. N., Tokhtashev V. S., Efremov A. N., Kandaurov P. M. 2012, The state and prospects of mineral raw materials for glass industry. *Prospect and protection of mineral resources*, no. 5, pp. 20–24. (In Russ.)
- Biryulev G. N. 2015, Mineral resource base of glass raw materials in the Russian Federation: state, use, development prospects. *Georesursy* [Georesources], no. 4, issue 63, pp. 21–24. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.18599/grs.63.4.3>
- State and characteristics of the resource base of hydrocarbons and solid minerals in the Volga Federal District as of 01.01.2018. (In Russ.) <https://pfo.rosnedra.gov.ru/page/150.html?mm=511&ml=414>
- 2004, Minerageny of the sedimentary rocks of the Eastern Russian platform. U. G. Distanov [et al.]. Kazan, 352 p. (In Russ.)
- Akhmet'ev M. A., Shik S. M., Alekseev A. S. (eds.) 2015, Unified stratigraphic scheme of Paleogene deposits of the Volga-Caspian subregion. Moscow, 96 p. (In Russ.)
- Zorina S. O., Afanasyeva N. I. 2012, The sand injectites in the Russian Platform's Paleogene sediments. *Stratigraphy and Sedimentology of Oil-Gas Basins*, vol. 2, pp. 35–48.


✉ [n-afanasieva@rambler.ru](mailto:n-afanasieva@rambler.ru)

 <http://orcid.org/0000-0003-4335-9251>

\*\*[svzorina@yandex.ru](mailto:svzorina@yandex.ru)

 <http://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

\*\*\*[kostya97@inbox.ru](mailto:kostya97@inbox.ru)

 <http://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

\*\*\*\*[nadia.m.hamada@gmail.com](mailto:nadia.m.hamada@gmail.com)

 <http://orcid.org/0000-0003-3269-6842>



8. Distanov U. G., Gimadeev R. A. 1968, Paleogene sandstones of the Ulyanovsk Volga region, mineral composition and properties. Stratigraphy, paleogeography and minerals of the Cenozoic of the Middle Volga region. Kazan: Proceedings of the Geological Institute, vol. 19, pp. 156–168. (In Russ.)
9. Muravjev V. I., Tsekhovskiy Yu. G., Kaleda K. G., Babushkin D. A., Suvorov A. I. 1997, Silicification processes in the Paleogene sandstones of the Eastern European Platform. *Lithologia i poleznye iskopajemye*, vol. 2, pp. 150–162. (In Russ.)
10. Scotese C. R., 2014, The PALEOMAP Project PaleoAtlas for ArcGIS, Version 2, Vol. 1. Cenozoic Plate Tectonic, Paleogeographic, and Paleoclimatic Reconstructions. Maps 1–15. PALEOMAP Project. Evanston, IL.
11. 1967, Atlas of Lithologic-Paleogeographic Maps of the Soviet Union. A. P. Vinogradov (ed.). Vol. 4: Paleogene, Neogene, and Quaternary. Moscow, 55 maps. (In Russ.)
12. Gorbatkina T. E., Iosifova Yu. I. 2004, New Paleogene stratigraphic units of the Voronezh Antecline – Vorobievskaya and Pasekovskaya Formations. *Vestnik Voronezh State University. Geological Series*, vol. 2, pp. 28–44. (In Russ.)
13. Zorina S. O., Afanasieva N. I., Khairtdinova L. R. 2018, An Event-Based Depositional Model for the Paleocene-Eocene Sandy–Clayey–Siliceous Sequence of the Russian Platform. *Doklady Earth Sciences*, vol. 480, no. 1, pp. 60–63. <http://doi.org/10.7868/S0869565218130121>
14. 2011, Geological Dictionary. In 3 vol. O. V. Petrov (ed.). St. Petersburg, vol. 2, 476 p. (In Russ.)
15. 2021, Subsurface sand remobilization and injection. S. Silcock, M. Huuse, M. Bowman, A. Hurst, S. Cobain (eds). London: The Geological Society, no. 493, 310 p. <https://doi.org/10.1144/SP493>
16. Madon M. 2020, Sand injectites in the West Crocker Formation, Kota Kinabalu, Sabah. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, vol. 69, pp. 11–26. <https://doi.org/10.7186/bgsm69202002>
17. Ross J. A., Peakall J., Keevil G. M. 2011, An integrated model of extrusive sand injectites in cohesionless sediments. *Sedimentology*, vol. 58, issue 7, pp. 1693–1715. <http://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2011.01230.x>
18. Monnier D., Gay A., Imbert P., Cavailhes T., Soliva R., Lopez M. 2015, Sand injectites network as a marker of the palaeo-stress field, the structural framework and the distance to the sand source: Example in the Vocontian Basin, SE France. *Journal of Structural Geology*, vol. 79, pp. 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.07.001>
19. Bhatia M. R., Crook K. A. W. 1986, Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, vol. 92, pp. 181–193. <https://doi.org/10.1007/BF00375292>
20. Floyd P. A., Leveridge B. E. 1987, Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones. *Journal of the Geological Society*, vol. 144, pp. 531–542. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
21. Bhatia M. R. 1983, Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, vol. 91, no. 6, pp. 611–627. <http://dx.doi.org/10.1086/628815>
22. Kuznetsov B. G. 2000, Some features of the development of the Caspian depression. A. N. Dmitrievskiy (ed.). The fundamental basis of new technologies in the oil and gas industry. Moscow, pp. 81–90. (In Russ.)
23. Davletshin K. A., Kosov S. A., Doronina A. P. et al. 2017, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. Srednevolzhskaya series. Sheet N-39-XXV (Syzran). Explanatory note. Moscow, 92 c. Ministry of Natural Resources of Russia, State Enterprise “Volgageologiya”. (In Russ.) URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-39/n-39-25/index.html>
24. Nikitin V. N., Burnaev V. S., Zhukova G. A. et al. 2013, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. Srednevolzhskaya series. Sheet N-38-XXX (Novospasskoye). Explanatory note. Moscow. (In Russ.) URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-38/n-38-30/index.html>
25. Zhukova G. A., Turova A. V., Karimova Kh. Kh. et al. 2013, State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000. Srednevolzhskaya series. Sheet N-38-XVIII (Maina). An explanatory note. Moscow, 151 p. (In Russ.) URL: <http://geo.mfvsegei.ru/200k/n-38/n-38-18/index.html>

The article was received on December 26, 2022