

УДК: 528.94+56.024+912.5(729.1)

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-1-31-463-478

Н. Гаррига-Франсес¹, Р. Рохас-Консуэгра²

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ
ГЕОИНФОРМАТИКИ И КАРТОГРАФИИ
ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКАМЕНЕЛОСТЕЙ
ЖИВОТНОГО ЦАРСТВА КУБЫ**

АННОТАЦИЯ

Настоящее исследование демонстрирует эффективность использования географических информационных систем (ГИС) и приемов картографии для анализа пространственного и временного распределения окаменелостей на Кубе, интегрируя данные из Палеобиологической базы данных (PBDB) с такими геопространственными инструментами, как QGIS. Результаты выявили неоднородное распределение палеонтологических находок с наибольшей концентрацией в провинциях Пинар-дель-Рио, Матансас и Сьенфуэгос. В провинции Лас-Тунас и в специальном муниципалитете Остров Молодости окаменелостей не обнаружено. Эта диспропорция может быть связана с интенсивностью предыдущих исследований и доступностью данных в PBDB, а не с реальным отсутствием окаменелостей в этих зонах. Наиболее представленные типы — хордовые, моллюски и иглокожие. Последние выделяются своим разнообразием с мелового периода, связанным с древними мелководными морскими экосистемами, которые сегодня являются низменностями. Отмечается преобладание морских моллюсков в юрском периоде и наземных моллюсков в четвертичном периоде. Более 85 % окаменелостей обнаружены на высотах ниже 150 м, что указывает на влияние экологических и геологических факторов на их дифференциальное сохранение в зависимости от высоты. Применение индекса разнообразия Шеннона и географической концентрации позволило определить приоритетные зоны для будущих исследований, оптимизируя управление палеонтологическим наследием. Методологический подход сочетает современные технологии с традиционными исследованиями, обеспечивая воспроизводимую основу для других географических контекстов. При этом подчеркивается важность включения дополнительных данных из музейных коллекций и палеоэкологических анализов для лучшего понимания закономерностей распределения и сохранения окаменелостей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: картография, ГИС, палеонтология, Куба

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, 10-я линия Васильевского острова, д. 31-33, Санкт-Петербург, Россия, 199178,
e-mail: nadiagarriga03@gmail.com

² Центр Нефтяных Исследований. КУПЕТ-МИНЕМ. Чуррука № 481, Серро, Гавана, Куба, С. Р. 12000,
e-mail: rojas@ceinpet.cupet.cu

Nadia Garriga-Frances¹, Reinaldo Rojas-Consuegra²

APPLICATION OF GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY METHODS TO ANALYZE THE DISTRIBUTION OF FOSSILS OF THE ANIMAL KINGDOM OF CUBA

ABSTRACT

This study demonstrates the effectiveness of using Geographic Information Systems (GIS) and cartographic techniques to analyze the spatial and temporal distribution of fossils in Cuba, integrating data from the Paleobiological Database (PBDB) with geospatial tools such as QGIS. The results revealed a heterogeneous distribution of paleontological finds, with the highest concentration in the provinces of Pinar del Rio, Matanzas and Cienfuegos. No fossils were found in the province of Las Tunas and in the special municipality of Isle of Youth. This disparity may be related to the intensity of previous studies and the availability of data in the PBDB, rather than the actual absence of fossils in these zones. The most represented phyla are chordates, mollusks and echinoderms. The latter stand out for their diversity since the Cretaceous period, associated with ancient shallow marine ecosystems that are now lowlands. There is a predominance of marine mollusks in the Jurassic and land mollusks in the Quaternary. More than 85 % of the fossils are found at elevations below 150 meters, indicating the influence of environmental and geological factors on their differential preservation depending on elevation. The application of the Shannon diversity index and geographic concentration indices allowed the identification of priority areas for future research, optimizing the management of the paleontological heritage. The methodological approach combines modern technology with traditional research, providing a replicable framework for other geographical contexts. It emphasizes the importance of incorporating additional data from museum collections and paleoenvironmental analyses to better understand fossil distribution and preservation patterns.

KEYWORDS: cartography, GIS, paleontology, Cuba

ВВЕДЕНИЕ

Палеонтология позволяет изучать прошлое Земли через ископаемые остатки, восстанавливать древние экосистемы и понимать эволюцию жизни на нашей планете. Благодаря изучению окаменелостей наука может проследить, как развивалась жизнь на Земле в течение 3,5 млрд лет [Benton, 2009], что дает возможность понять причины вымираний и прогнозировать будущие изменения на планете.

Картографическое представление ископаемых возможно благодаря определению их географического положения. Геоинформационные картографические методы необходимы для создания современных карт с использованием новых алгоритмов для отображения и анализа геопространственной информации. В последние десятилетия наблюдается растущая тенденция к применению географических информационных систем (ГИС) в картографии [Abdurakhmonov et al., 2023], которые продемонстрировали значительный прогресс с момента своего создания. Эффективный сбор, хранение, анализ и визуализация геопространственных данных являются основой современной картографии и обеспечиваются с помощью ГИС. Благодаря интегрированному пространственному анализу можно более эффективно выявлять закономерности, взаимосвязи и тенденции.

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, 31–33, 10th line of Vasilyevsky island, St. Petersburg, Russia, 199178, *e-mail*: nadiagarriga03@gmail.com

² Petroleum Research Center. CUPET-MINEM. 481, Churrucá, Cerro, Havana, Cuba, Postal Code 12000, *e-mail*: rojas@ceinpet.cupet.cu

Сочетание методов дистанционного зондирования и ГИС помогло прогнозировать зоны с высоким палеонтологическим потенциалом [Beelders et al., 2021; Stackhouse et al., 2021], значительно сокращая площадь поиска с помощью таких инструментов, как ортомозаичные карты, полученные с дронов, и алгоритмы контролируемой классификации. Эти технологии позволяют эффективно применять геоинформационную картографию в палеонтологических исследованиях. Иерархическая сегментация спутниковых изображений позволяет выявлять особенности рельефа, указывающие на возможные места нахождения ископаемых, что повышает точность по сравнению с традиционными методами [Emerson et al., 2015]. Кроме того, рекомендательные системы, применяемые к палеонтологическим коллекциям, представляют собой инновацию в идентификации и пространственном анализе окаменелостей [Žliobaitė, 2022].

Комбинация данных окаменелостей с надежными моделями улучшает нашу способность выявлять пространственные и временные закономерности в расположении ископаемых. В таких регионах, как Вайоминг и Индия, технологии ГИС значительно повысили эффективность палеонтологических исследований [Stackhouse et al., 2021; Kaur et al., 2024].

Пространственный анализ может помочь в принятии мер по защите исторических и научных ресурсов [Díaz-Franco, 2004]. Эти методики подчеркивают важность интеграции современных технологических инструментов с традиционными палеонтологическими подходами для максимального понимания пространственного распределения ископаемых и их исторического контекста. Распространение информации о достижениях в сохранении палеонтологического наследия необходимо для повышения осведомленности о его научной, культурной и образовательной ценности [Aquino et al., 2024].

Выделение зон палеонтологического интереса с помощью регионального анализа помогает сократить площадь поиска палеонтологических местонахождений, выявляя закономерности, связанные с обнаруженными окаменелостями. В данном исследовании каждая зона представлена политико-административными делениями страны.

С развитием технологий созданы платформы для сбора многих результатов таких исследований. Основными научными хранилищами окаменелостей являются Global Biodiversity Information Facility (GBIF) и The Paleobiology Database (PBDB).

С помощью интерфейса программирования приложений (API) [Peters et al., 2015; Uhen et al., 2023] PBDB предоставляет ученым и широкой публике информацию о палеонтологических записях. С другой стороны, GBIF охватывает данные обо всех формах жизни на Земле.

Основная цель исследования — проанализировать пространственное и временное распределение окаменелостей животного царства Кубы с использованием ГИС на основе данных из PBDB. Для этого будет использовано программное обеспечение QGIS 3.30.3 с целью выявления закономерностей распределения, концентрации и разнообразия в различных провинциях и геологических контекстах Кубы. Научная задача исследования — понять географическое и временное распределение кубинских окаменелостей животного царства, используя открытые источники данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Республика Куба (рис. 1) — это островное государство, разделенное на 15 провинций и особый муниципалитет (Остров Молодости). С геологической точки зрения [Iturralde-Vinent, 2019] территория архипелага представляет собой мозаику из различных структурных элементов, находящихся в тесной пространственной взаимосвязи. Изучение окаменелостей в общенациональном масштабе проводилось поэтапно. В 70–80-х гг. прошлого века геологические съемки в м-бе 1:250 000 были проведены Академиями наук стран

СЭВ (Совета Экономической Взаимопомощи). В них приняли участие выдающиеся исследователи и академики из СССР, Польши, Венгрии, Чехословакии, Болгарии и других стран.

Впоследствии, в период с 1980-х по 1990-е гг., были проведены исследования и съемки в м-бе 1:50 000 в нескольких наиболее перспективных регионах. В результате этих работ было обнаружено множество палеонтологических точек и местонахождений, а также собрана богатая коллекция окаменелостей различных групп. Материалы этих исследований хранятся в фондах Института геологии и палеонтологии (IGP) и некоторых музеев.

В 2019 г. была осуществлена кубино-российская палеонтологическая экспедиция в пещеру Эль-Аброн (провинция Пинар-дель-Рио), в ходе которой была собрана фото- и картографическая документация местонахождения. На этом четвертичном палеонтологическом местонахождении [Rojas-Consuegra et al., 2022] были зарегистрированы несколько групп позвоночных и немногочисленные беспозвоночные (легочные моллюски).

Материалы, использованные в данном исследовании, были включены в проект ГИС в QGIS 3.30.3. Были собраны следующие данные:

- цифровая модель рельефа¹;
- данные OpenStreetMap (OSM): административно-территориальное деление;
- цифровая геологическая карта Республики Куба м-ба 1:100 000;
- окаменелости животного царства².

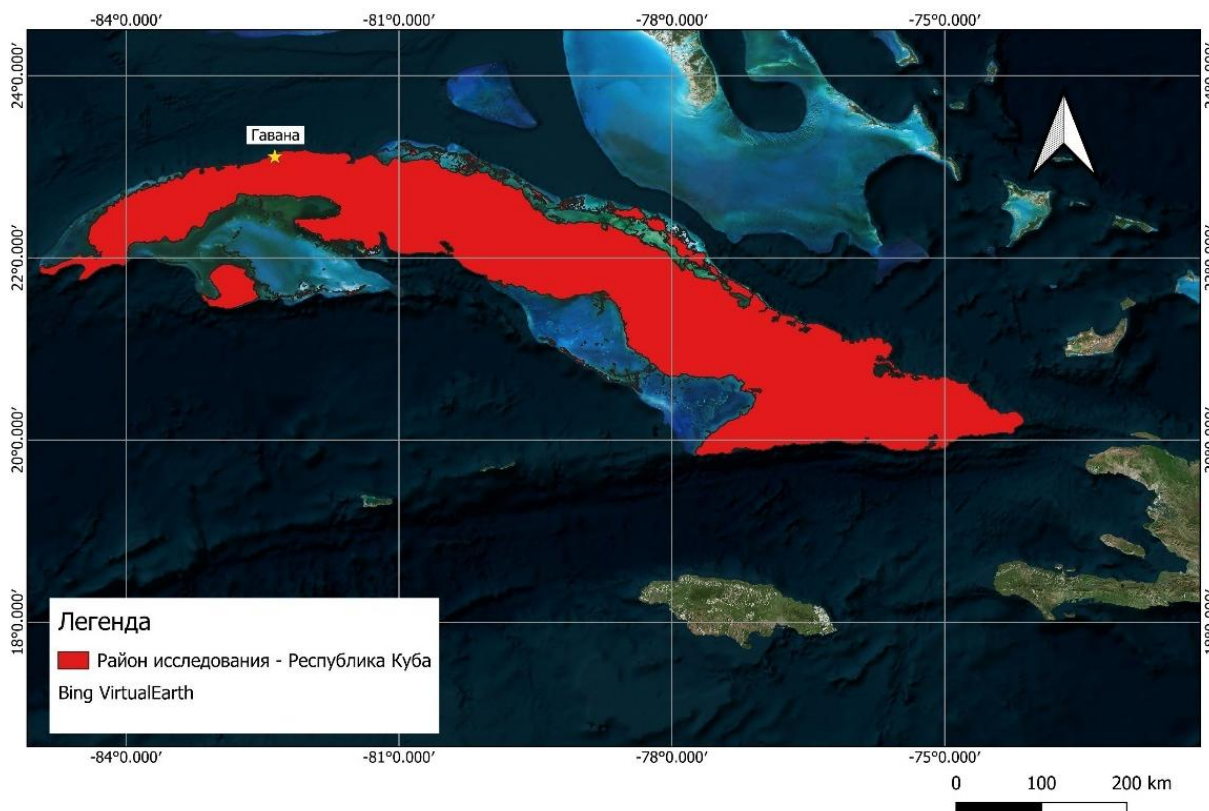


Рис. 1. Район исследования
Fig. 1. Study area

¹ Цифровая модель рельефа. Электронный ресурс: <https://www.gscloud.cn/home/> (дата обращения 25.11.2024)

² Палеобиологическая база данных. Электронный ресурс: <https://paleobiodb.org/data1.2/occs/> (дата обращения 18.10.2024)

Методы анализа и картографического представления

Данные окаменелостей классифицируются по типам, создавая независимые тематические слои. Это позволяет количественно оценивать данные по провинциям и геологическим периодам, а также устанавливать связи с высотами. Такие связи облегчают создание графиков, таблиц и карт, отражающих распределение животного мира.

В данном исследовании используются методы анализа и представления геоинформационных карт, предложенные [Лурье, 2008]. Эти методы включают: запрос к пространственным и атрибутивным базам данных, классификацию данных и формализацию процесса картографирования. Для классификации данных окаменелостей они разделяются по типам (филам), создавая независимые тематические слои для количественной оценки по провинциям и геологическим периодам.

С помощью картографического моделирования методом анализа наложения [Bedoya et al., 2022; Pereda-Sánchez et al., 2023] устанавливаются взаимосвязи между различными тематическими слоями, охватывающими всю территорию Республики Куба (район исследования). Тематические слои позволяют создавать новые характеристики, связанные с распределением окаменелостей. Наложение слоя, представляющего распределение окаменелостей, на цифровую модель рельефа (ЦМР) позволяет оценить его связь с топографическими изменениями.

Индекс географической концентрации (G) [Guo et al., 2024] — мера, используемая для оценки степени концентрации явления. В данном случае он будет применен для распределения окаменелостей по различным провинциям страны.

Расчет производится по следующей формуле (1):

$$G = 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{T}\right)^2} \quad (1),$$

где X_i — количество окаменелостей в i -й зоне,
 T — общее количество окаменелостей,
 n — количество субрегионов.

Эти данные, проанализированные на уровне типа (филума), позволяют оценить количество окаменелостей в разных провинциях страны.

Для оценки разнообразия окаменелостей между провинциями используется индекс Шеннона [Shannon, 1948], который также применяется для определения палеоразнообразия [Cuen-Romero et al., 2021]. Индекс Шеннона рассчитывается по формуле (2):

$$H' = - \sum_{i=1}^S \ln(p_i) \quad (2),$$

где H' — индекс Шеннона,
 S — общее количество видов в сообществе (в данном случае отражает таксономическую категорию/тип),
 p_i — пропорция особей, принадлежащих виду N — общее количество особей в сообществе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные были включены в проект ГИС с пятью тематическими слоями:

1. Окаменелости животного царства.
2. Территориальные границы Кубы.
3. Административно-территориальное деление.
4. Цифровая модель рельефа (ЦМР).
5. Геологическая карта.

Ископаемые были представлены в проекте в виде точечных данных и подверглись очистке по следующим критериям:

1. Отсутствие информации об авторе исследования или дате публикации/отчета.
2. Расположение в море.
3. Дублирование данных.
4. Несоответствие области исследования.

На этом этапе удалось установить наличие находки рода *Rhabdomeson* (филум *Bryozoa*), обнаруженной в верхней части формации Сан-Каэтано (Сьерра-дель-Росарио), с возможным происхождением из пермских пород [Pszczółkowski, 1989]. Эта находка также была исключена из дальнейшего анализа, поскольку относится к аллохтонным образованиям и имеет сомнительное происхождение. Таким образом, из 1 120 таксонов, загруженных из исходного файла, было сохранено 902 окаменелости. Плотность окаменелостей выше в западных провинциях, в то время как на востоке страны эти показатели ниже (рис. 2).

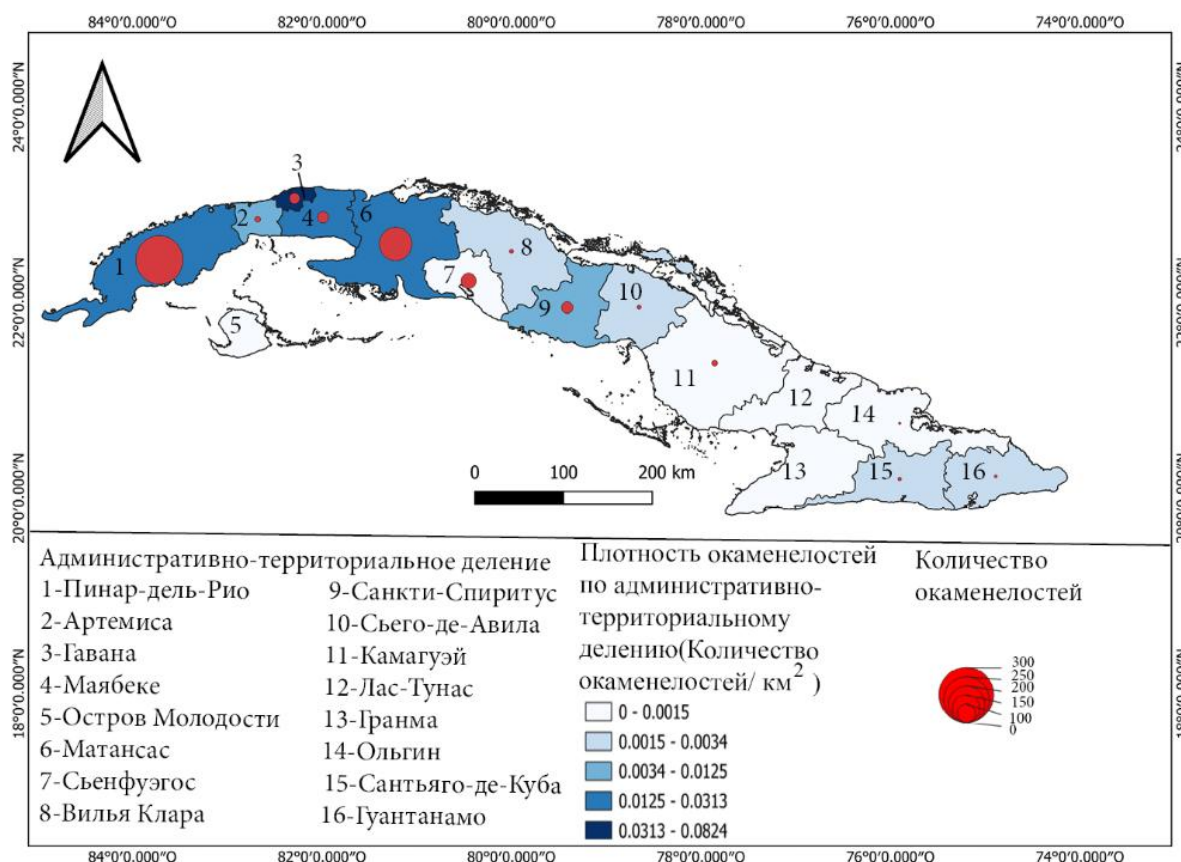


Рис. 2. Карта плотности окаменелостей
Fig. 2. Fossil density map

Тип пространственного распределения

После вычисления индекса географической концентрации окаменелостей в различных провинциях страны по формуле (1) в Excel, значение G составило 40,0874, а G_0 — 25 (таб. 1). Значение G превышает G_0 , что указывает на когезивное распределение. Среднее значение для каждой провинции должно быть примерно не менее 56,375 (целое число 57) находок (таб. 1). Однако 9 провинций и специальный муниципалитет Остров Молодости не достигли этого значения.

Кривая Лоренца представляет собой графический метод для отображения пространственной концентрации, где степень выпуклости вверх отражает интенсивность данной агломерации. В данном исследовании кривая была построена путем упорядочивания провинций Кубы и специального муниципалитета согласно количеству зарегистрированных палеонтологических находок от большего к меньшему с последующим расчетом накопленных процентов относительно общего числа (таб. 1, рис. 3).

При сравнении с линией равенства (идеально однородным распределением) наблюдается заметное отклонение кривой с более выраженной выпуклостью. Этот паттерн свидетельствует о неоднородном распределении, подтверждая наличие значительных территориальных асимметрий (рис. 3).

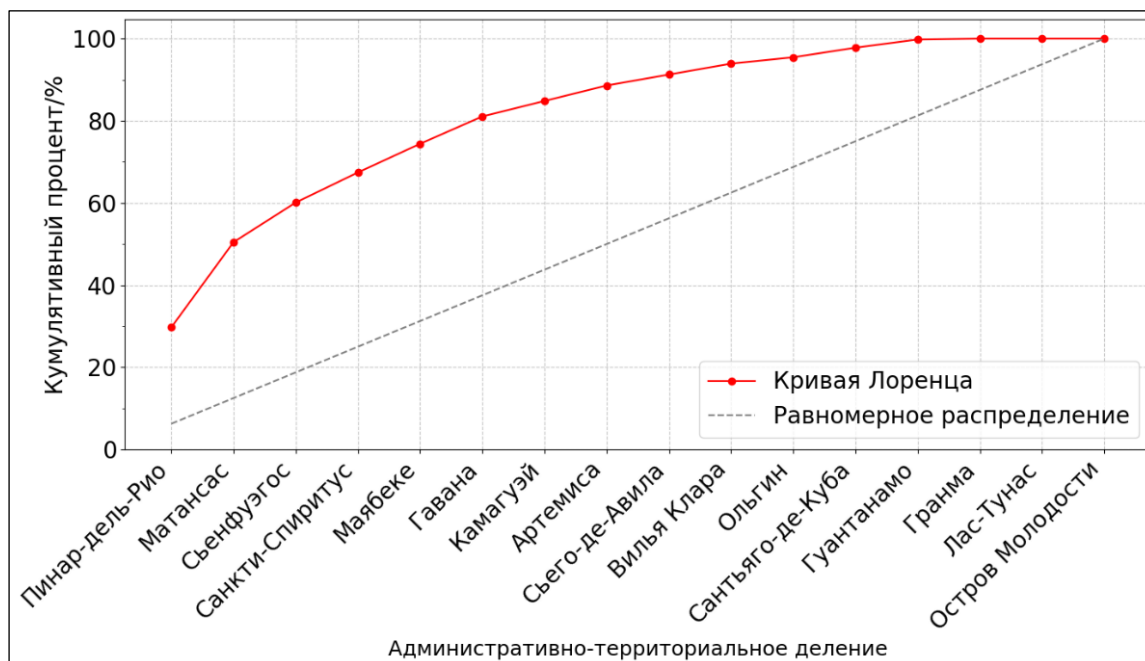


Рис. 3. Кривая Лоренца распределения окаменелостей по территориальному делению
Fig. 3. Lorenz curve of fossil distribution by territorial division

Такое неравномерное распределение может отражать различия в условиях сохранности, интенсивности исследований и геологической истории каждой провинции. Количество найденных окаменелостей отражает только те находки, которые были внесены в эту базу данных, но не обязательно показывает общую тенденцию результатов, полученных в стране по этой теме.

Исходные данные охватывают работы, выполненные в период с 1841 по 2024 г. В качестве замечаний можно отметить явное преобладание исследований до 2001 г. и в целом неравномерность данных в разные моменты времени. Данные взяты из открытых международных веб-ресурсов без учета многих региональных или местных источников.

Табл. 1. Индекс географической концентрации
Table 1. Geographic concentration index

Административно-территориальное деление	Провинции	Количество окаменелости по административному территориальному делению	Xi/T	(Xi/T) ²	Предполагаемая равномерное распределение			Индекс географической концентрации
					Количество окаменелости по административному территориальному делению	Xi/T	(Xi/T) ²	
Пинар-дель-Рио		268	0,2971	0,0883	56,375	0,0625	0,0039	
Матансас		187	0,2073	0,0430	56,375	0,0625	0,0039	
Сьенфуэгос		87	0,0965	0,0093	56,375	0,0625	0,0039	
Санкти-Спиритус		66	0,0732	0,0054	56,375	0,0625	0,0039	
Маябеке		63	0,0698	0,0049	56,375	0,0625	0,0039	
Гавана		60	0,0665	0,0044	56,375	0,0625	0,0039	
Камагуэй		34	0,0377	0,0014	56,375	0,0625	0,0039	
Артемиса		34	0,0377	0,0014	56,375	0,0625	0,0039	
Сьего-де-Авила		24	0,0266	0,0007	56,375	0,0625	0,0039	G0 = 25
Вилья Клара		24	0,0266	0,0007	56,375	0,0625	0,0039	G = 40,0874
Ольгин		14	0,0155	0,0002	56,375	0,0625	0,0039	
Сантьяго-де-Куба		21	0,0233	0,0005	56,375	0,0625	0,0039	
Гуантанамо		18	0,0200	0,0004	56,375	0,0625	0,0039	
Гранма		2	0,0022	0,0000	56,375	0,0625	0,0039	
Лас-Тунас		0	0,0000	0,0000	56,375	0,0625	0,0039	
Специальный муниципалитет								
Остров Молодости		0	0,0000	0,0000	56,375	0,0625	0,0039	
Всего		902	1,0000	0,1607	902		0,0625	

Структура разнообразия по административно-территориальному делению

Согласно таксономической классификации, данные разделены на восемь типов животного царства: кольчатые черви, моллюски, иглокожие, стрекающие, хордовые, плеченогие, членистоногие, губки. Региональный анализ определил области, представляющие интерес. Можно отметить преобладание окаменелостей из группы хордовых. Губки встречаются только в провинции Матансас. В Пинар-дель-Рио, где общее обилие представленных групп организмов выше, насчитывается всего пять типов. Однако самыми многочисленными в этой провинции, как и в провинциях Матансас и Сьенфуэгос, являются моллюски.

Индекс разнообразия, рассчитанный по уравнению (2), показывает более низкий индекс разнообразия в провинциях Гранма, Лас-Тунас и специальном муниципалитете Остров Молодости, причем в двух последних окаменелости отсутствуют (рис. 4). Самые высокие индексы разнообразия были обнаружены в провинциях Гавана, Сьенфуэгос и Вилья-Клара.

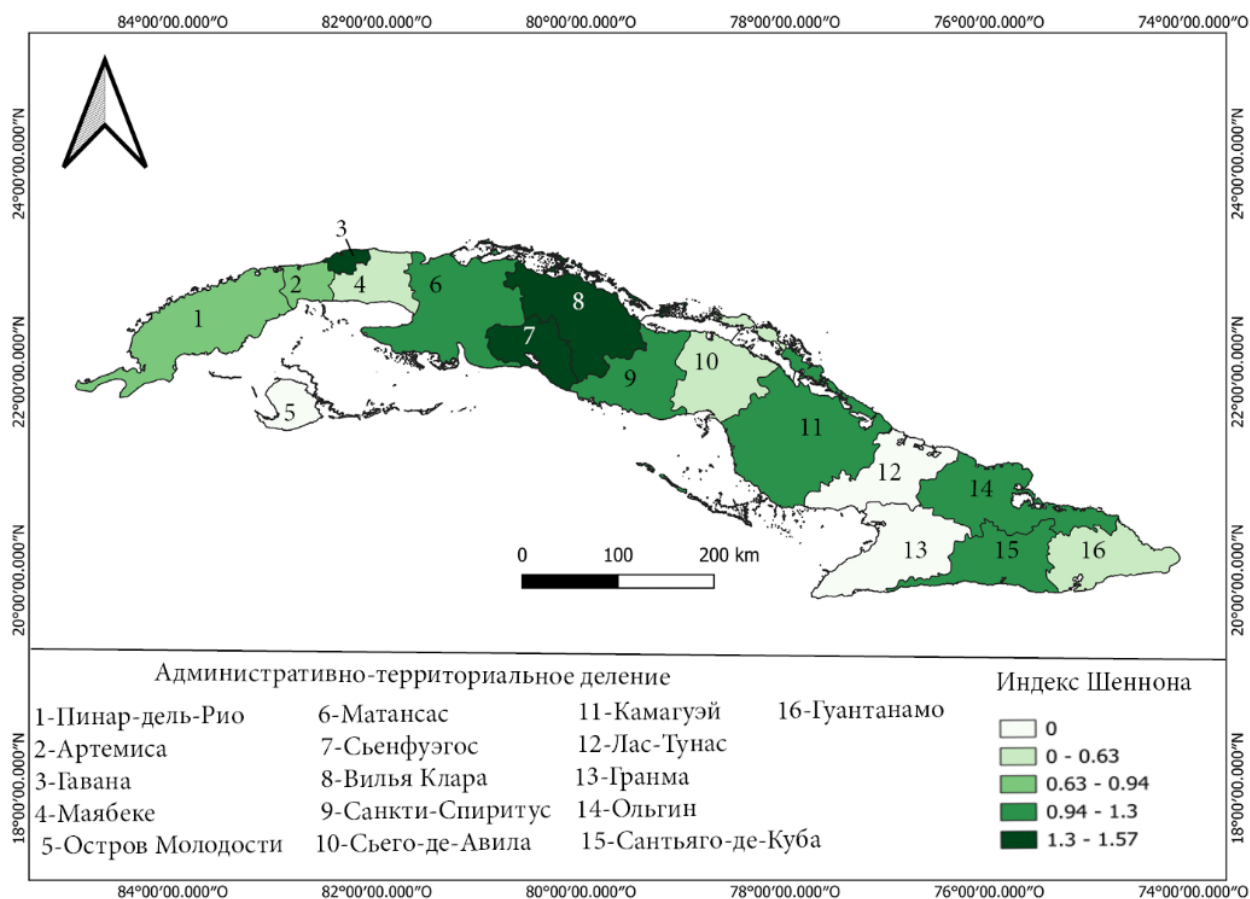


Рис. 4. Карта ископаемого разнообразия по административно-территориальному делению
Fig. 4. Map of fossil diversity by administrative-territorial division

Распределение окаменелостей по геологическим периодам

Затем данные были классифицированы в соответствии с геологическим периодом, в котором начали появляться окаменелости. Следует отметить, что для классификации геологических периодов пришлось создать новое поле, поскольку данные отражают не реальную классификацию геологических периодов, но в большинстве случаев — этажи

внутри геологических периодов. Согласно Международной геохронологической таблице¹, окаменелости распределены по интервалам в млн лет.

Данные показывают значительное обилие моллюсков во всех геологических периодах, где встречаются окаменелости (рис. 5). Этот тип, как и хордовые, в целом представлен от юрского периода до четвертичного. Согласно полученным данным, не все типы представлены в каком-либо периоде, но есть группы, такие как губки и кольчатые черви, распространение которых ограничено одним геологическим периодом (неоген и мел, соответственно). Четвертичный период, несмотря на большее количество ископаемых, отличается небольшим разнообразием.

Эонотема (эон)	Эратема (эра)	Период (система)	Возраст (млн лет)	Моллюски	Кольчатые черви	Иглокожие	Стрекающие	Хордовые	Плеченогие	Членистоногие	Губки
Ф А Н Е Р О З О Й	КАЙНОЗОСКАЯ	ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ	2.58	130	-	-	-	113	-	6	-
		НЕОГЕНОВЫЙ		41	-	62	16	24	25	23	1
		ПАЛЕОГЕНОВЫЙ	23.04	10	-	81	15	3	41	7	-
	МЕЗОЗОЙСКАЯ	МЕЛОВЫЙ	66.0	54	2	14	10	8	9	10	-
		ЮРСКИЙ	143.1 ± 0.6	169	-	1	-	26	1	-	-
		ТРИАСОВЫЙ	201.4 ± 0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого				404	2	158	41	174	76	46	1

Рис. 5. Распределение окаменелостей по геологическим периодам
Fig. 5. Distribution of fossils by geological periods

Пинар-дель-Рио — единственная провинция, где были найдены морские окаменелости юрского периода [Rojas-Consuegra, 2021]. Здесь было найдено значительное количество моллюсков (в основном головоногих — аммонитов) и хордовых (морских рептилий и рыб), что свидетельствует о богатом биоразнообразии юрского периода. Высокая частота встречаемости моллюсков в Пинар-дель-Рио (рис. 6) характеризуется присутствием глубоководных аммонитов и мелководных остракод.

В меловом периоде моллюски более представительны не только по количеству, но и по пространственному распределению. Провинция с наибольшим количеством окаменелостей этого типа — провинция Санкт-Спиритус. На эту провинцию приходится около 43 % от общего числа меловых окаменелостей. Это свидетельствует о благоприятных условиях для сохранения этой группы. В палеогене преобладают иглокожие, которые наиболее представлены в провинциях Пинар-дель-Рио и Сьего-де-Авила. Наиболее разнообразна провинция Матансас, где в этот период встречаются пять из шести групп.

В неогене наибольшее разнообразие наблюдается в провинциях Гавана и Матансас. Иглокожие очень хорошо представлены в Майабеке, что свидетельствует о благоприятных морских условиях для этой группы. Моллюски представлены в нескольких провинциях, таких как Гавана, Матансас, Пинар-дель-Рио и Санкт-Спиритус.

¹ Международная геохронологическая таблица. Электронный ресурс: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2024-12.pdf> (дата обращения 10.10.2024)

В четвертичном периоде окаменелости распространены в одиннадцати провинциях страны. Наибольшее количество и разнообразие окаменелостей обнаружено в провинции Матансас, где преобладают морские моллюски. Однако наземные хордовые являются группой с самым широким пространственным распределением.

Связь между возрастом и изменениями рельефа

Взаимосвязь между окаменелостями и высотой показывает разные результаты (рис. 6). Более 85 % окаменелостей найдено на высоте менее 150 м и более 45 % — на высоте менее 50 м. На высотах ниже 50 м преобладают четвертичные окаменелости, их насчитывается более 170 м. В этом диапазоне окаменелости тем обильнее, чем моложе их возраст. На больших высотах тенденция более изменчива. От 50 до 250 м н. у. м. в изобилии встречаются юрские окаменелости, что означает преобладание в этом интервале более древних окаменелостей. Меловые окаменелости менее многочисленны в интервале от 50 до 150 м и все более редки в интервале от 150 до 250 м. В последнем интервале встречается очень мало четвертичных окаменелостей.

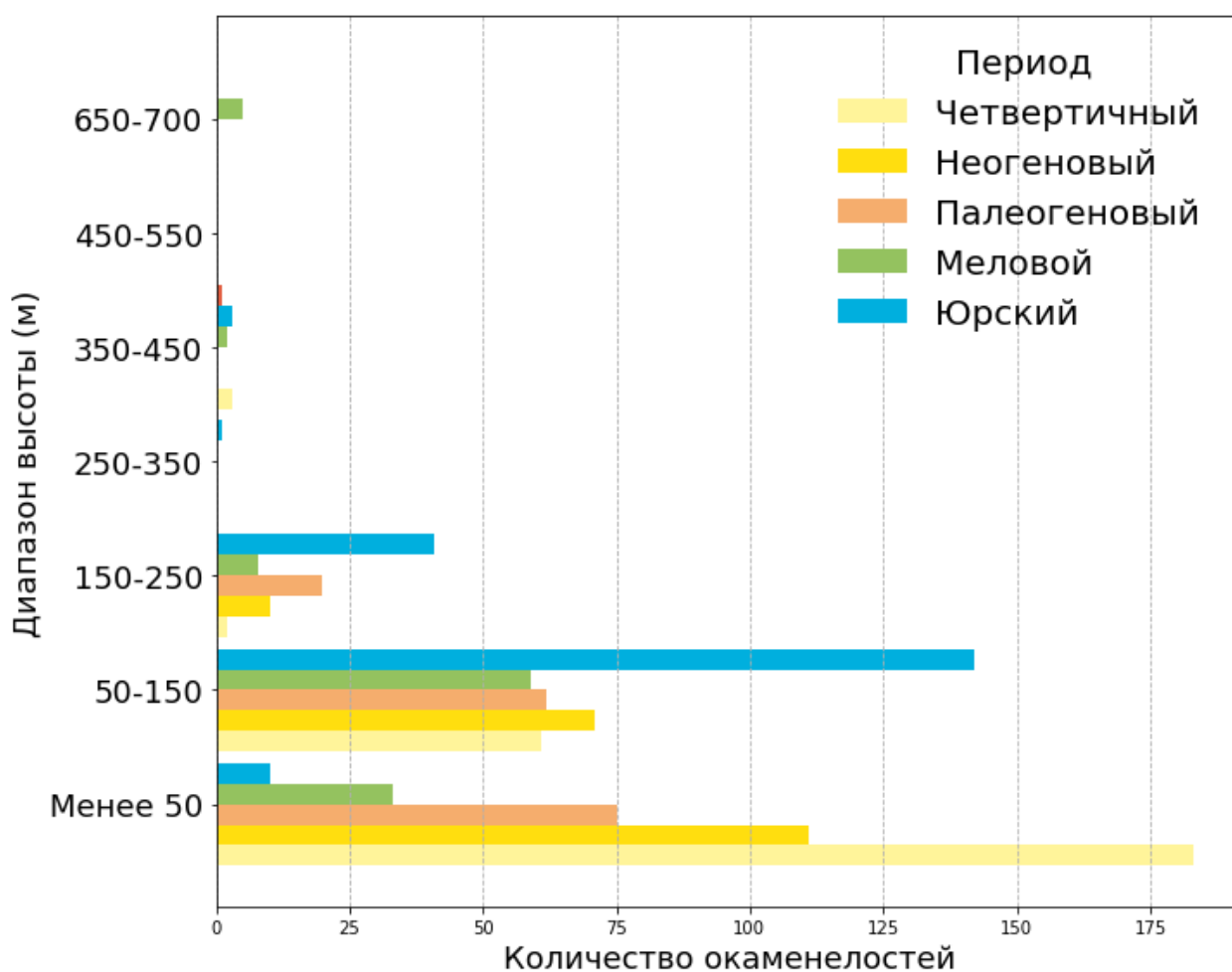


Рис. 6. Количество окаменелостей для каждого периода и диапазона высот
Fig. 6. Number of fossils for each period and altitude range

В целом, самые древние юрские породы занимают самые высокие горы в центральной и западной частях Кубы. Меловые и палеогеновые породы занимают промежуточное

положение, а неогеновые и четвертичные породы распространены на равнинах и вблизи побережья, как правило, на более низких высотах (Геологическая карта Кубы, IGP, 2010).

Анализ распределения окаменелостей в зависимости от высоты над уровнем моря выявил четкие закономерности в их количестве и разнообразии среди различных таксономических групп. В высотном диапазоне ниже 50 м в изобилии представлены моллюски, хордовые и иглокожие, в то время как другие группы, такие как кольчатые черви, членистоногие и плеченогие, представлены в меньшем количестве. В высотном диапазоне от 50 до 150 м общее количество окаменелостей увеличивается по сравнению с предыдущим диапазоном, хотя моллюски продолжают доминировать. Однако количество иглокожих и хордовых по сравнению с предыдущим диапазоном уменьшается.

От 150 до 250 м наблюдается значительное снижение общего количества окаменелостей и, хотя хордовые продолжают преобладать, их количество значительно уменьшается по сравнению с предыдущими диапазонами. Моллюски также значительно уменьшаются в количестве, а присутствие других групп становится очень ограниченным.

На высоте 250–350 м и выше (до 700 м) количество окаменелостей крайне мало для всех проанализированных таксономических групп, что свидетельствует о менее благоприятных условиях для сохранения на этих высотах.

Результаты показывают, что высоты ниже 150 м демонстрируют наибольшее богатство с точки зрения количества и разнообразия окаменелостей. Четко преобладают хордовые (а именно, наземные четвертичные позвоночные), моллюски и иглокожие (которые происходят в основном из кайнозойских морских пород).

Анализ геологии

Кроме рассмотренного, данные сравнивались с геологической картой по критериям возраста и литологии. При анализе геологии видно, что более половины данных не соответствуют возрасту геологической формации, с которой они имеют пространственную связь.

Полученные результаты могут быть связаны со сложностью геологического строения Кубы, где небольшие полосы геологических единиц могут находиться друг в друге в результате тектонических процессов. В основном это относится к юрскому и меловому периодам. При сопоставлении регионального и детального геологического описания обнаруживаются несоответствия, связанные с картографическим масштабом. По этой причине при интерпретации полученной информации необходимо обращать внимание на масштаб исходных картографических материалов. Для дальнейших исследований необходимо иметь более подробные картографические источники, т. к. используемая база данных в большинстве случаев не содержит литологического описания.

ВЫВОДЫ

Настоящее исследование показывает эффективность использования ГИС и приемов картографии для анализа пространственно-временного распределения окаменелостей на Кубе, позволяя получить полное представление об их разнообразии и особенностям расположения. Результаты выявили значительную неоднородность в распределении палеонтологических находок, зарегистрированных в базе данных.

Проанализированные данные показывают, что наибольшее число окаменелостей животных на территории Кубы концентрируется в западных провинциях, что, вероятно, свидетельствует об интенсивности проведенных исследований в этом регионе. Наиболее представленные окаменелости соответствуют хордовым, моллюскам и иглокожим. Морские моллюски преобладают в юрском периоде, а наземные — в четвертичном, причем в последнем периоде наблюдается большее разнообразие, хотя данные ограничены. Более

85 % окаменелостей сосредоточено на высотах ниже 150 м. Эта закономерность свидетельствует о том, что на больших высотах наблюдается тенденция к снижению численности и разнообразия видов. Это может быть связано с экологическими и геологическими факторами, которые обеспечили меньшую сохранность палеонтологического материала по сравнению с более низкими высотами.

Применение геопространственных методов, включая индекс разнообразия Шеннона и индекс географической концентрации, позволило нам определить приоритетные области для будущих исследований и оценить палеонтологический потенциал каждого региона. Кроме того, использованный методологический подход подчеркивает важность интеграции современных технологий с традиционными палеонтологическими исследованиями для оптимизации управления и сохранения палеонтологического наследия на месте. Важно подчеркнуть значение анализа данных в геологическом контексте, а при проведении пространственных сопоставлений с геологическими картами необходимо учитывать масштаб, в котором была составлена карта, в связи со сложностью изучаемой территории.

В заключение следует отметить, что данная работа не только вносит вклад в изучение палеоразнообразия, но и представляет собой методологическую основу, применимую к другим географическим контекстам. Будущие исследования должны быть направлены на изучение причин наблюдаемого распределения, включение дополнительных данных из музейных коллекций, анализ влияния палеоэкологических факторов на дифференциальную сохранность окаменелостей. Сочетание передовых технологий с полевыми исследованиями позволит максимально раскрыть и защитить этот бесценный геобиологический архив.

Имеющиеся данные являются надежным инструментом для разработки методик, позволяющих расширить знания и создать новые картографические инструменты для поиска и представления подобной информации. С помощью картографического анализа будут определены закономерности в распределении данных об ископаемых животных. Эта работа послужит руководством для регионализации и определения областей поиска и получения данных по животному царству, а также откроет путь для новых исследований, ориентированных на тематическое картографирование палеонтологической информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лурье И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник. М.: КДУ, 2008. 424 с.

Abdurakhmonov S., Bekanov K., Ochilov S., Tukhtamishev S., Karimov Y. Advances in Cartography: A Review on Employed Methods. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. V. 389. P. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/202338903057.

Aquino V., Aris J. Gestión del Repositorio Paleontológico de la Universidad Nacional de Salta: Historia, Avances y Materiales Relevantes Management of the Paleontology Repository of the National University of Salta. History, Progress and Relevant Materials. NOTA INSTITUCIONAL, 2024. V. 2. No. 2. P. 141–151.

Bedoya S. Z., Acero D. M. W., Mercado M. Geospatial Models for SARS-CoV-2 Outbreak Control in Cartagena and Barranquilla, Colombia, 2020. Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health. Pan American Health Organization, 2022. V. 46. Art. e26. DOI: 10.26633/RPSP.2022.26.

Beelders T., Dollman G. Virtual Prospecting in Paleontology using a Drone-Based Orthomosaic Map: An Eye Movement Analysis. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021. V. 10. Iss. 11. Art. 753. DOI: 10.3390/ijgi10110753.

- Benton M. J., Harper D. A. T.* Introduction to Paleobiology and the Fossil Record. 2009. Web resource: www.blackwellpublishing.com/paleobiology (accessed 08.11.2024).
- Cuen-Romero F. J., Noriega-Ruiz H. A., Chacón-Baca E., Monreal R., Castillo-Gómez R. A.* Métodos Cuantitativos en Paleocología de Comunidades. EPISTEMUS. Universidad de Sonora, 2021. V. 14. No. 29. P. 1–32. DOI: 10.36790/epistemus.v14i29.138.
- Díaz-Franco S.* Análisis de la Extinción de Algunos Mamíferos Cubanos, Sobre la Base de Evidencias Paleontológicas y Arqueológicas. Revista Biología, 2004. V. 18. No. 2. P. 147–154.
- Emerson C., Bommersbach B., Nachman B., Anemone R.* An Object-Oriented Approach to Extracting Productive Fossil Localities from Remotely Sensed Imagery. Remote Sensing, 2015. V. 7. Iss. 12. P. 16555–16570. DOI: 10.3390/rs71215848.
- Guo Y., Yang Y., Song Q.* Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of Museums in Jining, China. Futurity of Social Sciences. Futurity Research Publishing, 2024. P. 72–88. DOI: 10.57125/FS.2024.03.20.04.
- Iturralde-Vinent M. A.* Geología de Cuba y del Caribe. Compendio, Tercera Edición. Editorial CITMATEL. La Habana. Cuba, 2019.
- Kaur A. P., Sisk M. L., Chauhan P. R.* A MaxEnt Predictive Model for Palaeontological Sites in the Siwalik Hills: A Case Study from the Pinjor Formation of the Upper Siwalik Hills near Chandigarh, Northern India. Quaternary Environments and Humans, 2024. V. 2. Iss. 5. Art. 100017. DOI: 10.1016/j.qeh.2024.100017.
- Pereda-Sánchez A., Calvo-Mac C., Flores-Miranda W. E., De La Puente-León M., Cerna-Chihuahua I. G.* Activity Patterns and Temporal Overlap between Native and Exotic Carnivores in Southern Remnants of the Tumbesian Dry Forest in Perú. Ecologia Austral. Asociación Argentina de Ecología, 2023. V. 33. No. 2. P. 507–515. DOI: 10.25260/EA.23.33.2.0.1985.
- Peters S. E., McClennen M.* The Paleobiology Database Application Programming Interface. Paleobiology. Paleontological Society, 2015. V. 42. No. 1. P. 1–7. DOI: 10.1017/pab.2015.39.
- Pszczółkowski A.* Late Paleozoic Fossils from Pebbles in the San Cayetano Formation, Sierra del Rosario, Cuba. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 1989. V. 59. P. 27–40.
- Rojas-Consuegra R.* Synthesis of Fossil Record of Cuba — A Bibliographic Compilation. Geology of Cuba. Cham: Springer, 2021. P. 71–142.
- Rojas-Consuegra R., Pajon-Morejon J., Aranda-Pedroso E., Barzaga-Rodriguez L. A., Freol-Gonzalez S., Perez Lorenzo E.* Estratigrafía del Yacimiento Cuaternario de Microvertebrados Fósiles El Abrón, en el Karst de Sierra La Güira, Provincia Pinar del Río, Cuba. Geociencias UO, 2022. V. 5. P. 102–113.
- Shannon C. E.* A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 1948. V. 27. No. 3. P. 379–423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
- Stackhouse L. A., Li Y.* Identifying Potential Fossil Bearing Deposits in the Bighorn Basin, Wyoming using GIS and Remote Sensing. 2021. Web resource: <https://udspace.udel.edu/handle/19716/31003> (accessed 08.11.2024).
- Uhen M. D., Allen B., Behboudi N., Clapham M. E., Dunne E., Hendy A., Holroyd P. A., Hopkins M., Mannion P., Novack-Gottshall P., Pimiento C., Wagner P.* Paleobiology Database User Guide Version 1.0. PaleoBios, 2023. V. 40. Iss. 11. P. 1–56. DOI: 10.5070/p9401160531.
- Žliobaitė I.* Recommender Systems for Fossil Community Distribution Modelling. Methods in Ecology and Evolution, 2022. V. 13. Iss. 8. P. 1690–1706. DOI: 10.1111/2041-210X.13916.

REFERENCES

- Abdurakhmonov S., Bekanov K., Ochilov S., Tukhtamishev S., Karimov Y.* Advances in Cartography: A Review on Employed Methods. E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. V. 389. P. 1–8. DOI: 10.1051/e3sconf/202338903057.
- Aquino V., Aris J.* Management of the Paleontological Repository of the National University of Salta: History, Advances, and Relevant Materials. NOTA INSTITUCIONAL, 2024. V. 2. No. 2. P. 141–151 (in Spain).
- Bedoya S. Z., Acero D. M. W., Mercado M.* Geospatial Models for SARS-CoV-2 Outbreak Control in Cartagena and Barranquilla, Colombia, 2020. Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health. Pan American Health Organization, 2022. V. 46. Art. e26. DOI: 10.26633/RPSP.2022.26.
- Beelders T., Dollman G.* Virtual Prospecting in Paleontology using a Drone-Based Orthomosaic Map: An Eye Movement Analysis. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021. V. 10. Iss. 11. Art. 753. DOI: 10.3390/ijgi10110753.
- Benton M. J., Harper D. A. T.* Introduction to Paleobiology and the Fossil Record. 2009. Web resource: www.blackwellpublishing.com/paleobiology (accessed 08.11.2024).
- Cuen-Romero F. J., Noriega-Ruiz H. A., Chacón-Baca E., Monreal R., Castillo-Gómez R. A.* Quantitative Methods in the Paleocology of Communities. EPISTEMUS. Universidad de Sonora, 2021. V. 14. No. 29. P. 1–32 (in Spain). DOI: 10.36790/epistemus.v14i29.138.
- Díaz-Franco S.* Analysis of the Extinction of Some Cuban Mammals, Based on Paleontological and Archaeological Evidence. Revista Biología, 2004. V. 18. No. 2. P. 147–154 (in Spain).
- Emerson C., Bommersbach B., Nachman B., Anemone R.* An Object-Oriented Approach to Extracting Productive Fossil Localities from Remotely Sensed Imagery. Remote Sensing, 2015. V. 7. Iss. 12. P. 16555–16570. DOI: 10.3390/rs71215848.
- Guo Y., Yang Y., Song Q.* Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of Museums in Jining, China. Futurity of Social Sciences. Futurity Research Publishing, 2024. P. 72–88. DOI: 10.57125/FS.2024.03.20.04.
- Iturralde-Vinent M. A.* Geology of Cuba and the Caribbean. Compendium, Third Edition. CITMATEL Publishing House, Havana. Cuba, 2019 (in Spain).
- Kaur A. P., Sisk M. L., Chauhan P. R.* A MaxEnt Predictive Model for Palaeontological Sites in the Siwalik Hills: A Case Study from the Pinjor Formation of the Upper Siwalik Hills near Chandigarh, Northern India. Quaternary Environments and Humans, 2024. V. 2. Iss. 5. Art. 100017. DOI: 10.1016/j.qeh.2024.100017.
- Lurie I. K.* Geoinformation Mapping. Methods of Geoinformatics and Digital Processing of Satellite Images: A Textbook. Moscow: KDU, 2008. 424 p. (in Russian).
- Pereda-Sánchez A., Calvo-Mac C., Flores-Miranda W. E., De La Puente-León M., Cerna-Chihuahua I. G.* Activity Patterns and Temporal Overlap between Native and Exotic Carnivores in Southern Remnants of the Tumbesian Dry Forest in Perú. Ecologia Austral. Asociación Argentina de Ecología, 2023. V. 33. No. 2. P. 507–515. DOI: 10.25260/EA.23.33.2.0.1985.
- Peters S. E., McClennen M.* The Paleobiology Database Application Programming Interface. Paleobiology. Paleontological Society, 2015. V. 42. No. 1. P. 1–7. DOI: 10.1017/pab.2015.39.
- Pszczółkowski A.* Late Paleozoic Fossils from Pebbles in the San Cayetano Formation, Sierra del Rosario, Cuba. Annales Societatis Geologorum Poloniae, 1989. V. 59. P. 27–40.

Rojas-Consuegra R. Synthesis of Fossil Record of Cuba — A Bibliographic Compilation. *Geology of Cuba*. Cham: Springer, 2021. P. 71–142.

Rojas-Consuegra R., Pajon-Morejon J., Aranda-Pedroso E., Barzaga-Rodriguez L. A., Freol-Gonzalez S., Perez Lorenzo E. Stratigraphy of the Quaternary Fossil Microvertebrate Site El Abrón, in the Karst of Sierra La Güira, Pinar del Río Province, Cuba. *Geociencias UO*, 2022. V. 5. P. 102–113 (in Spain).

Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, 1948. V. 27. No. 3. P. 379–423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.

Stackhouse L. A., Li Y. Identifying Potential Fossil Bearing Deposits in the Bighorn Basin, Wyoming using GIS and Remote Sensing. 2021. Web resource: <https://udspace.udel.edu/handle/19716/31003> (accessed 08.11.2024).

Uhen M. D., Allen B., Behboudi N., Clapham M. E., Dunne E., Hendy A., Holroyd P. A., Hopkins M., Mannion P., Novack-Gottshall P., Pimiento C., Wagner P. Paleobiology Database User Guide Version 1.0. *PaleoBios*, 2023. V. 40. Iss. 11. P. 1–56. DOI: 10.5070/p9401160531.

Žliobaitė I. Recommender Systems for Fossil Community Distribution Modelling. *Methods in Ecology and Evolution*, 2022. V. 13. Iss. 8. P. 1690–1706. DOI: 10.1111/2041-210X.13916.
