

Анализ статистических значений между структурными поверхностями на тестовом участке с целью увеличения достоверности ГРП

Анисимова Л.З.¹, Колузаева К.Ю.¹, Анисимова Л.Г.²

¹Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия,

²Институт экологии Российского университета дружбы народов, Москва, Россия
anislz@mail.ru

Аннотация

Данная статья посвящена проблемам повышения степени достоверности структурных построений на месторождениях на основе использования методов изопакхического треугольника и анализа коэффициентов корреляции структурных планов. В ходе работы над статьей был проведен анализ статистических значений структурных поверхностей осадочных образований тестируемого участка в юго-восточной части РТ; а именно: проведен расчет коэффициентов корреляции структурных планов кровли горизонтов и построен изопакхический треугольник по поверхностям кровли и изопакхит между горизонтами. Анализ вариаций толщин позволит авторам допустить, что в ходе развития структурных планов на адресной территории доминирующим фактором являются тектонические изменения или эндогенные процессы, отслеживающиеся от кровли турнейского до тастубского горизонта.

Материалы и методы

По построенным структурным картам проведен расчет коэффициентов корреляции математическими методами, используя функциональные возможности ГИС MapInfo. Для определения последовательности развития ряда поверхностей при построении палеоструктурных карт применен метод изопакхического треугольника.

Ключевые слова

изопакхический треугольник, структурные карты, карты изопакхит, палеозойские отложения, пространственный анализ

Для цитирования

Анисимова Л.З., Колузаева К.Ю., Анисимова Л.Г. Анализ статистических значений между структурными поверхностями на тестовом участке с целью увеличения достоверности ГРП // Экспозиция Нефть Газ. 2023. № 4. С. 10–14. DOI: 10.24412/2076-6785-2023-4-10-14

Поступила в редакцию: 18.04.2023

Nalysis of statistical values between structural surfaces on the test site in order to increase the reliability of exploration

Anisimova L.Z.¹, Koluzaeva K.Yu.¹, Anisimova L.G.²

¹PEM TAS, Kazan, Russia, ²RUDN University, Moscow, Russia
anislz@mail.ru

Abstract

This article is devoted to the problems of increasing the degree of reliability of structural constructions at deposits based on the use of “isopachic triangle” methods and analysis of correlation coefficients of structural plans. In the course of work on the article, the analysis of statistical values between the structural surfaces of the structural surfaces of sedimentary formations of the tested area in the south-eastern part of the Republic of Tatarstan was carried out; namely, the correlation coefficients of the structural plans of the roof of the horizons were calculated and an isopachic triangle was constructed along the roof surfaces and isopachite between the horizons. The analysis of thickness variations will allow the authors to assume that during the development of structural plans in the targeted area, tectonic changes or endogenous processes that are tracked from the roof of the Tournai to the Tastuba horizon are the dominant factor.

Materials and methods

According to the constructed structural maps, the correlation coefficients were calculated by using mathematical methods. To determine the sequence of development of a number of surfaces, the method of “isopachic triangle” was used in the construction of paleostructural maps.

Keywords

isopachic triangle, structural maps, isopachite maps, paleozoic sediments, spatial analysis

For citation

Anisimova L.Z., Koluzaeva K.Yu., Anisimova L.G. Nalysis of statistical values between structural surfaces on the test site in order to increase the reliability of exploration. Exposition Oil Gas, 2023, issue 4, P. 10–14. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2023-4-10-14

Received: 18.04.2023

Введение

Получение качественно новой геологической информации — задача, всегда сопряженная с определенными трудностями. Наиболее остро проблема повышения детальности структурных построений стоит в районах с большой тектонической активностью; а также в районах с несогласным залеганием отложений осадочного чехла, где между перерывами в осадконакоплении формируются карсты и эрозионные выступы. Актуальность представленного материала в данной статье, полнота использования имеющейся литературы по данной проблеме диктуются необходимостью детализации строения сложнопостроенных объектов на этапах разведки и освоения месторождения УВ.

Последнее обстоятельство предполагает использование математических методов для расчета вероятностей совпадения тех или иных структурных планов и методов геолого-геофизического моделирования для построения и анализа поверхностей структурных планов.

Научная новизна результатов данного исследования заключается в получении авторами статьи набора карт мощностей, позволяющем восстановить эволюцию формирования локальных поднятий на тестовом участке месторождения, максимально используя возможности геоинформационной системы MapInfo для построения карт мощностей методом схождения и для расчета коэффициентов корреляции.

Объект исследования

В качестве объекта исследований авторами выбран тестируемый участок в Бавлинском районе Республики Татарстан (РТ) (по согласованию с недропользователем название площади не разглашается) размерами вдоль долготы 5,5 км, вдоль широты 10,2 км. Были использованы данные сейсморазведки, включающие шесть структурных поверхностей и рельеф местности, подготовленный по данным цифровой модели местности (ЦММ) из матрицы радарной топографической съемки Shuttle radar topographic mission.

Теоретическая часть

Оценка взаимосвязи между явлениями предполагает наличие определенной выборки по сравниваемым явлениям. Для примера возьмем структурные поверхности, предположительно тектонически унаследованные. Подчеркиваем, что структурные карты составлены с большой достоверностью, с использованием материалов сейсмоки в модификации 3D, 2D и по данным геологии.

Берем для сравнения две структурные поверхности. Накладываем расчетную сетку (абсциссы и ординаты точек строго координированы) с шагом, не превышающим усредненную площадь положительных проявлений локальных структур. Вычисляем коэффициент корреляции (1):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - m_a)(b_i - m_b)}{n \delta_a \delta_b} \quad (1)$$

где a_i и b_i — полученные данные от двух поверхностей, n — число пар данных, m_a , m_b — соответствующие значения средних, δ_a , δ_b — их среднеквадратические значения.

Расчет средних данных m_a , m_b и среднеквадратичных отклонений δ_a , δ_b выполнен по формулам (2) и (3) соответственно. Эти параметры в дальнейшем использованы для расчета коэффициента корреляции.

$$m_a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n}, m_b = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{n} \quad (2)$$

$$\delta_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n} - m_a^2}, \delta_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n b_i^2}{n} - m_b^2} \quad (3)$$

Оценку точности — по формуле (4):

$$m_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Такой подход позволяет повысить степень достоверности при изучении соотношений структурных планов по отражающим поверхностям в продуктивных горизонтах осадочного чехла при наличии высокой корреляционной зависимости между отражающими поверхностями. Коэффициент корреляции — величина, варьируемая в пределах от -1 до +1. Если коэффициент равен +1, то говорят о полной положительной зависимости. Если коэффициент равен -1, то о полной отрицательной зависимости. Соответственно, при нулевой корреляции расчетные переменные независимы друг от друга. Данный коэффициент используем для анализа поверхностей, представленных в виде матрицы точек (гридов) при условии нормального закона распределения глубины в частности.

Данный подход позволит при наличии минимума геологической и геофизической информации и при возможности получения коэффициента корреляции не менее 0,6 (как

эмпирическое обобщение) восстановить структурную поверхность любого промежуточного стратиграфического горизонта. В геологии такой подход называют методом схождения и применяют при сравнении структурных планов.

Получаемые при расчетах данные систематизируем, используя классификацию [3, 5]:

- корреляция сильная при условии, если R больше 0,7;
- средняя при R от 0,5 до 0,69;
- умеренная при R от 0,3 до 0,49;
- слабая при R от 0,2 до 0,29;
- очень слабая при R меньше 0,19.

Допускаем, что при цифрах больше 0,5 присутствует унаследованность структурных планов.

Карта строится на основании предположения о том, что верхняя геологическая граница комплекса в момент начала накопления вышележащей толщи пород залегала горизонтально, то есть к этому времени произошла полная компенсация погружения осадконакоплением. Относительно этой горизонтальной плоскости и определяют положение подошвы комплекса. Представление об условиях залегания последней дают мощности, которые показывают, на какой глубине от горизонтальной плоскости находилась подошва нижнего пласта во время отложения самого верхнего слоя. Таким образом, при построении палеоструктурной карты принимается условная нулевая поверхность, причем для каждой карты своя собственная. За нулевую поверхность берем поверхность того верхнего опорного горизонта, на конец времени образования которого строится карта.

Результаты и обсуждения

В ходе работы проведен анализ статистических значений между структурными поверхностями отражающих сейсмических поверхностей. Структурные карты, полученные по материалам сейсморазведки в модификации 3D преобразованы в расчетные grids. Методом схождения построены карты мощностей и рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 1).

Наибольшие коэффициенты корреляции наблюдаются от кровли отложений бобриковского горизонта до кровли заволжского горизонта, что свидетельствует о практически полном совпадении структурных планов кровли ярусов и горизонтов в этом промежутке разреза. Вероятнее всего причина в согласном залегании всех осадочных образований без перерыва в осадконакоплении и слабо выраженной тектоникой в этом районе.

Табл. 1. Коэффициенты корреляции структурных поверхностей
Tab. 1. Correlation coefficients of structural surfaces

Горизонт, ярус	Дневная поверхность	Тастубский горизонт	Бобриковский горизонт	Турнейский ярус	Заволжский горизонт	Данково-лебедянский горизонт	Подошва репера «Аяксы»
Дневная поверхность	1	–	–	–	–	–	–
Тастубский горизонт	0,0009	1	–	–	–	–	–
Бобриковский горизонт	0,13	0,33	1	–	–	–	–
Турнейский ярус	0,12	0,15	0,88	1	–	–	–
Заволжский горизонт	0,25	0,15	0,65	0,71	1	–	–
Данково-лебедянский горизонт	-0,02	0,22	0,71	0,75	0,49	1	–
Подошва репера «Аяксы»	0,04	0,02	0,59	0,52	0,46	0,34	1

Вышележащие от кровли бобривского горизонта плохо коррелируются между собой; очевидно, ввиду несовпадения структурных планов из-за перерыва в осадконакоплении и, возможно, как частичного, так и полного размыва осадочных образований.

Как известно, палеоструктурные карты являются картами разностей глубин залегания исследуемой поверхности и вышезалегающего по разрезу стратиграфического подразделения [4]. После несложных манипуляций получаем карту мощностей исследуемого объекта на время конца накопления вычитаемого горизонта. Метод наглядно показывает историю развития локального участка поверхности во времени (рис. 1).

На данном рисунке карты представлены в виде изопахического треугольника и расположены в следующем порядке:

1 — цифровая модель рельефа местности; 2 — структурная карта по кровле тастубского горизонта сакмарского яруса нижней перми; 3 — карта кровли тастубского горизонта

сакмарского яруса к дневной поверхности; 4 — структурная карта по кровле бобривского горизонта нижнего карбона; 5 — карта кровли бобривского горизонта к концу тастубского времени; 6 — карта кровли бобривского горизонта к дневной поверхности; 7 — структурная карта по кровле турнейского яруса нижнего карбона; 8 — карта кровли турнейского яруса к концу бобривского времени; 9 — карта кровли турнейского яруса к концу тастубского времени; 10 — карта кровли турнейского яруса к дневной поверхности; 11 — структурная карта по кровле заволжского горизонта верхнего девона; 12 — карта кровли заволжского горизонта к концу турнейского времени; 13 — карта кровли заволжского горизонта к концу бобривского времени; 14 — карта кровли заволжского горизонта к концу тастубского времени; 15 — карта кровли заволжского горизонта к дневной поверхности; 16 — структурная карта по кровле данково-лебедевского горизонта верхнего девона; 17 — карта кровли данково-лебедевского горизонта

к концу заволжского времени; 18 — карта кровли данково-лебедевского горизонта к концу турнейского времени; 19 — карта кровли данково-лебедевского горизонта к концу бобривского времени; 20 — карта кровли данково-лебедевского горизонта к концу тастубского времени; 21 — карта кровли данково-лебедевского горизонта к дневной поверхности; 22 — структурная карта по подошве репера «Аяксы» верхнего девона; 23 — карта по подошве репера «Аяксы» к концу данково-лебедевского времени; 24 — карта по подошве репера «Аяксы» к концу заволжского времени; 25 — карта по подошве репера «Аяксы» к концу турнейского времени; 26 — карта по подошве репера «Аяксы» к концу бобривского времени; 27 — карта по подошве репера «Аяксы» к концу тастубского времени; 28 — карта по подошве репера «Аяксы» к дневной поверхности (рис. 2).

Изопахический треугольник — это набор палеоструктурных карт (в нашем случае карты мощностей), расположенных в определенной последовательности сгруппированных в треугольник, позволяющий отследить всю эволюцию исследуемой структуры (локального поднятия, вала, свода). Карта строится на основании предположения о том, что верхняя геологическая граница комплекса в момент начала накопления вышележащей толщи пород залегала горизонтально, то есть к этому времени произошла полная компенсация погружения осадконакоплением [1]. Относительно этой горизонтальной плоскости и определяют положение подошвы комплекса. Представление об условиях залегания последней дают мощности, которые показывают, на какой глубине от горизонтальной плоскости находилась подошва нижнего пласта во время отложения самого верхнего слоя. Таким образом, при построении палеоструктурной карты принимается условная нулевая поверхность, причем для каждой карты своя собственная. За нулевую поверхность берем поверхность того верхнего опорного горизонта, на конец времени образования которого строится карта. Далее описание полученных данных.

В квадратах 1, 2, 4, 7, 11, 16, 22 располагаются карты, отражающие структурный план от рельефа дневной поверхности до подошвы репера «Аяксы».

В нижнем ряду ячеек (23–28) приведены карты, показывающие развитие поверхности кыновского горизонта, а именно структуроформирующие движения по кровле горизонта. Как видно из рис. 1, ряд 23–28 наглядно показывает формирование компенсированного прогиба, так как по мере течения времени на картах толщин увеличиваются толщины в западной и центральной области исследуемого участка. Наибольшие изменения приходятся на изопахиты, начиная с тастубского времени, где присутствует перерыв в осадконакоплении; а также возможен частичный размыв сакмарского яруса. Также следует отметить, что согласно [2] в данном районе были тектонические подвижки, которые тоже оказали влияние на формирование палеопериферий. Аналогичная картина формирования территории прослеживается и в других горизонтальных рядах: 16–21; 11–15; 7–10; 4–6.

Отсюда следует вывод: где было прогибание территории (депрессия), там увеличенная толщина, где поднятие — уменьшенная. Если по горизонталям выбрать структуру, то сможем отследить ее изменение



Рис. 1. Анализ изменения мощностей, представленный в виде изопахического треугольника
Fig. 1. Analysis of power changes, presented in the form of an isopachic triangle

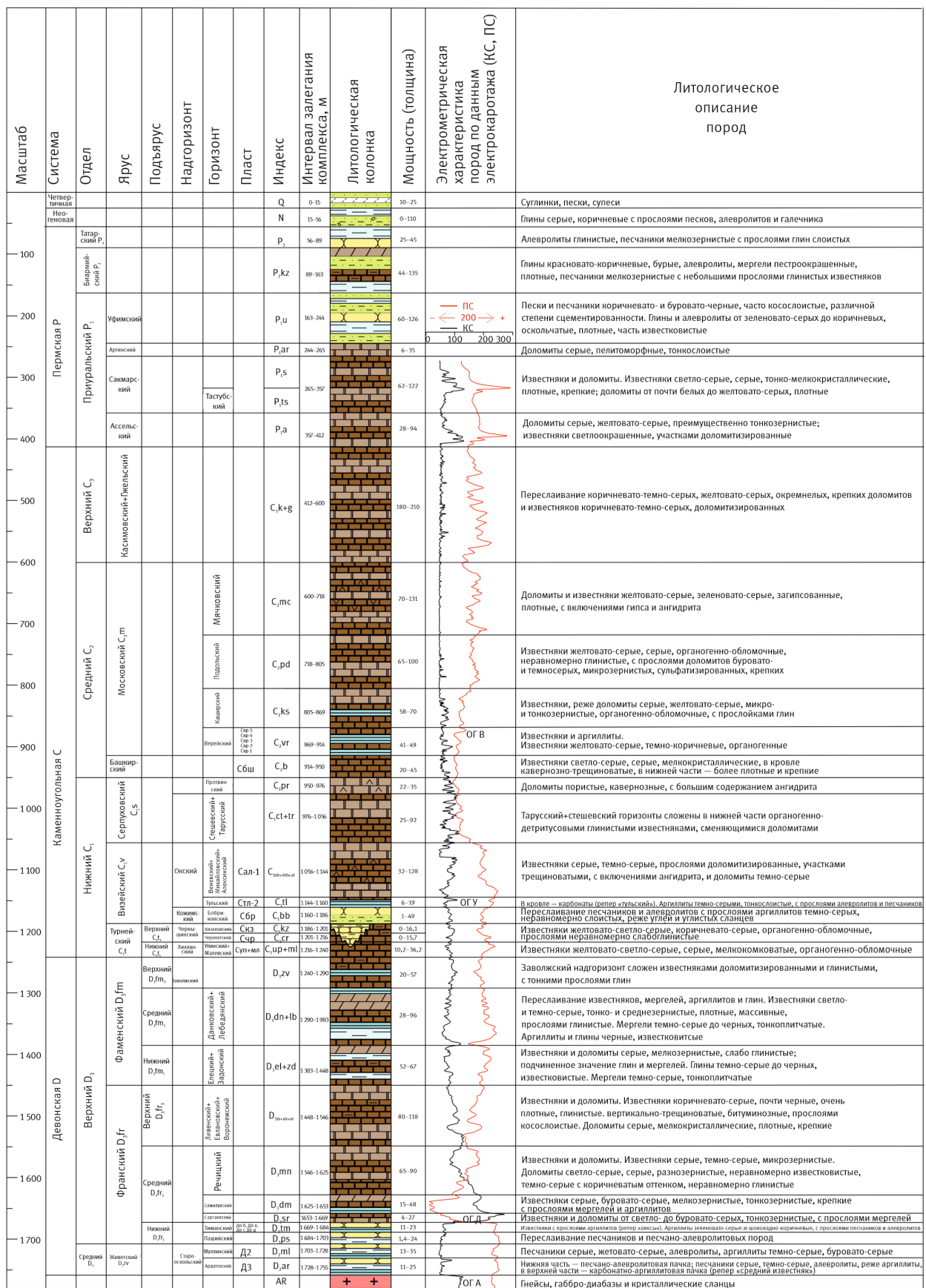


Рис. 2. Сводный геолого-геофизический разрез
Fig. 2. Summary geological and geophysical section

на определенный момент времени, что позволяет косвенно оценивать готовность структуры как ловушки углеводородов на момент времени, который допускается как благоприятный для накопления углеводородов.

Оговариваемся, что на данном участке:

- отсутствуют некомпенсированные прогибы, и данный локальный участок характеризуется отсутствием колебаний мощностей с литологофациальными изменениями;
- на территории отсутствует погребенный эрозионный рельеф и имеет место быть одинаковая степень уплотнения пород на всем тестовом участке.

Согласно методу, предложенному Е.Н. Пермяковой и Ю.А. Каравашкиной (1951 г.), все карты сведем в общую схему на одном листе и расположим в несколько горизонтальных рядов, где каждый горизонтальный ряд начинается с современной структурной карты соответствующего горизонта. В связи с тем, что развитие каждого вышерасположенного и, следовательно, более молодого горизонта начинается на этап позже, каждый новый верхний ряд оказывается на одну карту короче. В результате эта схема приобретает форму треугольника. Если рассматривать карты по диагонали,

то проследим структурный план по разным горизонтам на один и тот же отрезок времени.

Итого

В основе анализа мощностей лежит представление о компенсации погружения дна бассейна осадконакоплением. На этом основании мощности отложений являются показателями скорости и интенсивности погружения дна бассейна, следовательно, и тектонических движений, вызвавших это погружение. Отсюда следует, что участки карты, характеризующиеся минимальными значениями мощностей какого-то определенного стратиграфического интервала, соответствуют древним приподнятым участкам, и наоборот, участки повышенных мощностей соответствуют древним погруженным участкам.

Выводы

Анализ изменений мощностей позволяет допустить, что на территории преобладают при осадконакоплении доминирующим фактором тектонические изменения или эндогенные процессы, которые отслеживаются до тастубского горизонта. Далее, по полученным данным коэффициентов корреляции, мы можем судить о преобладании экзогенных процессов над эндогенными.

Литература

1. Белоусов В.В. Мощность отложений как выражение режима колебательных движений земной коры // Советская геология. 1940. № 2–3. С. 14–28.
2. Буров Б.В. Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника. М.: ГЕОС, 2003. 402 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. М.: Юрайт, 2023. 479 с.
4. Ожгибесов В.П. Стратиграфические индексы общих, региональных и местных стратиграфических подразделений: Пермская система // Стратиграфия, палеонтология, палеогеография, геодинамика и минеральные ресурсы: сб. материалов Междунар. конф., посвящ. 170-летию со дня открытия пермской системы. 5–9 сент. 2011 г., Пермь: Пермский государственный университет, 2011. С. 155–158.
5. Хамидуллин Р.Я. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Издательство Университета Синергия, 2020. 276 с.

ENGLISH

Results

The analysis of capacities is based on the idea of compensation for the immersion of the bottom of the basin by sedimentation. On this basis, the sediment capacities are indicators of the rate and intensity of immersion of the bottom of the basin, hence, the tectonic movements that caused this immersion. It follows from this that the sections of the map characterized by the minimum values of the capacities of a certain stratigraphic interval correspond to the ancient elevated sections and, conversely, the areas of increased capacities

correspond to the ancient submerged sections.

Conclusions

The analysis of capacity changes allows us to assume that tectonic changes or endogenous processes that are tracked to the tasterian horizon prevail in the territory during sedimentation by the dominant factor. Further, according to the obtained data of correlation coefficients, we can judge the predominance of exogenous processes over endogenous ones.

References

1. Belousov V.V. Sediment power as an expression of the mode of oscillatory movements of the Earth's crust. Soviet geology, 1940, issue 2–3, P. 14–28. (In Russ).
2. Burov B.V. Geology of Tatarstan: Stratigraphy and tectonics. Moscow: GEOS, 2003, 402 p. (In Russ).
3. Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics. Textbook. Moscow: Yurayt, 2023, 479 p. (In Russ).
4. Ozhgibesov V.P. Stratigraphic indices of general, regional and local stratigraphic units: Perm system. Stratigraphy, paleontology, paleogeography, geodynamics and mineral resources: collection of materials of the International Conference, dedicated. 170th anniversary of the opening of the Perm system, 5–9 Sept. 2011, Perm. Perm: State University. Perm, 2011, P. 155–158. (In Russ).
5. Khamidullin R.Ya. Probability theory and mathematical statistics. Moscow: Synergy University Publishing House, 2020, 276 p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Анисимова Лилия Закувановна, научный сотрудник лаборатории геологического и экологического моделирования, ИПЭН АН РТ, Казань, Россия
Для контактов: anislz@mail.ru

Anisimova Lilia Zakuvanovna, researcher at the laboratory of geological and ecological modeling, IPEN TAS, Kazan, Russia
Corresponding author: anislz@mail.ru

Колузаева Ксения Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории геологического и экологического моделирования, ИПЭН АН РТ, Казань, Россия

Koluzayeva Ksenia Yurievna, research assistant at the laboratory of geological and ecological modeling, IPEN TAS, Kazan, Russia

Анисимова Лиана Гурьевна, студент 2 курса магистратуры, Институт экологии Российского университета дружбы народов, Москва, Россия

Anisimova Liana Guryevna, 2nd year master's student, RUDN University, Moscow, Russia