

УДК 550.8.053

**ПРИКАСПИЙСКАЯ ВПАДИНА И ЕЕ ОТОБРАЖЕНИЕ
В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АНОМАЛИЯХ****Волкова Е.Н.***Саратовский национальный исследовательский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, e-mail: volkovaen@info.sgu.ru*

В статье представлены новые методические приемы интерпретации геолого-геофизических данных с целью обоснованного выхода с нефтегазопроисковой деятельностью во внутренние районы Прикаспийской впадины и подтверждения гипотезы о наличии приподнятых блоков фундамента и крупных подсолевых поднятий, доступных для бурения. Наблюденные гравитационные и магнитные аномалии в виде числовых значений были сформированы в матрицы, охватывающие всю территорию Прикаспийской впадины, размерами 120*100 элементов для карт масштаба 1:1000000. Всего сформировано 40 схем геофизических параметров. В центральной части трансформациями выявлены крупные, интенсивные аномалии, связанные с морфологией поверхности подсолевого ложа. Гравитационные ступени, ограничивающие крупные аномалии, указывают на крутые склоны структурных элементов. Это возможные переходные зоны от мелководных условий к глубоководным. Выявленная инверсия гравитационных и магнитных аномалий может быть связана с объектами мощных толщин карбонатных пород органогенного генезиса бассейнового, бортового и шельфового типа, сформированных на склоновых участках. Для Прикаспийской впадины вычислены трансформированные карты гравитационных и магнитных аномалий при различных высотах пересчета вверх от 5 до 50 км с шагом 5 км; вычислены интервальные трансформированные схемы. Установлено, что структура искусственных параметров обусловлена неоднородным строением и петрофизическими свойствами геологического разреза. В результате обработки и интерпретации автор прогнозирует в центральном районе существование антиклинальной зоны, в пределах которой располагается возможное поднятие для дальнейшего роста крупных карбонатных построек типа «Карачаганак». Зона с такими же признаками фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии в районе Аралсорского максимума силы тяжести.

Ключевые слова: нефтеносность, геология, геофизика, гравиразведка, интерпретация**CIS-CASPIAN DEPRESSION AND ITS REFLECTION
IN GEOPHYSICAL ANOMALIES****Volkova E.N.***Saratov State University, Saratov, e-mail: volkovaen@info.sgu.ru*

The article presents new methodological methods for interpreting geological and geophysical data with the aim of justifying the search for oil and gas in the inner regions of Cis-Caspian depression and confirming the hypothesis of uplifted foundation blocks and large drillable subsalt elevations. The observed gravitational and magnetic anomalies were represented in the form of numerical matrices covering the entire territory of Cis-Caspian depression with 120*100 dimensions of elements for maps of 1:1000000 scale. A total of 40 schemes of geophysical parameters were generated. In the central part, the transformations allowed identifying large, intense anomalies associated with the morphology of the subsalt bed surface. Gravity steps, which limit large anomalies, testify to the steep slopes of structural elements. This is the possible zones of transition from shallow-water conditions to deep-water ones. The inversion of gravitational and magnetic anomalies can be associated with the objects of formation of carbonate rocks of organogenic Genesis of basin, side and shelf types formed on slope areas. Transformed maps of gravitational and magnetic anomalies were calculated for the Caspian basin at different altitudes from 5 to 50 km with a step of 5 km; interval transformed schemes were calculated. As a result of processing and interpretation, the author predicts the existence of an anticline zone in the Central region, within which there is a possible uplift for further growth of large carbonate structures of the Karachaganak type. The zone with the same signs is also registered in the western part of the Central Cis-Caspian depression in the region of Aralсор gravity high.

Keywords: oil, geology, geophysics, gravity, interpretation

Недостаточная эффективность геофизических исследований в сложных геологических условиях на больших глубинах поставила новые теоретические и практические проблемы, без решения которых невозможно освоить прогнозируемые потенциальные ресурсы Прикаспийской впадины как нового нефтегазоносного региона России [1].

К числу таких проблем относится и разработка высокоэффективных методов поисков и разведки с целью наращивания промышленных запасов углеводородов.

Выбор стратегии поисково-разведочных работ определяется различными концепциями строения и развития Прикаспийской впадины. Большие мощности осадочного чехла (>20 км), наличие мощных толщ соли, сложность структуры подсолевых отложений, резкие изменения литологического состава пород, наличие многочисленных перерывов в осадконакоплении и разрывные нарушения не дают возможности однозначно трактовать особенности структуры и истории геологического развития тер-

ритории. Анализ фактического материала привел к появлению различных моделей, которые отображают разные точки зрения на геологическое строение и генезис впадины, порождающие два подхода к обоснованию размещения геологоразведочных работ [2].

Гипотеза некомпенсированного осадконакопления предполагает малую перспективность центральных районов в отношении нефтегазоносности разреза. Другие гипотезы предполагают наличие приподнятых блоков фундамента и крупных подсолевых поднятий, доступных для бурения не только в периферийных, но и в центральных частях впадины. Выход с поисковыми работами во внутренние районы Прикаспийской впадины предполагает положительные результаты, однако именно центральная часть охарактеризована недостаточным объемом геолого-геофизического материала, из-за слабой изученности бурением и неоднозначной интерпретации геофизических материалов [3].

Первоочередные направления в задачах поиска стратегических объектов углеводородного сырья основаны на альтернативных моделях строения Прикаспия, что и определяет соответствующий комплекс методических приёмов.

Значительное развитие получили высокопроизводительные дешёвые методы разведочной геофизики: гравиразведка и магниторазведка – выполненные практически на всей территории впадины, давая непрерывную объективную информацию по площади в виде сводных карт напряжённости магнитного поля и аномалий поля силы тяжести.

Материалы и методы исследования

Известно, что наблюдения гравитационного и магнитного полей, как правило, представлены сложными интерференционными картинками и визуальное рассмотрение их не позволяет установить особенности строения геологической среды. Считается, что характер затухания аномалий, в зависимости от высоты (уровня) пересчёта, даёт возможность сделать ряд важных выводов о тектоническом строении исследуемой территории, установить места расположения крупных геоструктурных элементов, таких как выступы, впадины, валы, прогибы и т.п. По картам региональных аномалий можно выделить зоны крупных дислокаций, простирающие основных структур и сделать выводы об их предположительных размерах.

В этих условиях важно осуществить такое преобразование наблюдаемого поля, которое выявит в визуальной форме содержащуюся в суммарном поле информацию о его компонентах, связанных с отдельными геологическими образованиями. В зависимости от варианта выделения из наблюдаемого поля региональной или локальной составляющей подбирают способы преобразований [4].

С целью получения преобразованных параметров применялись следующие способы трансформации:

а) аналитическое продолжение в верхнее полупространство на высоту 5, 10, 15, 20, 30, 40 и 50 км с последующим построением схем региональных аномалий $\Delta g_{h=5}$, то есть на высоте 5 км, $\Delta g_{h=10}$, $\Delta g_{h=15}$ и т.д.;

б) вычисление разности аномальных значений на поверхности наблюдений и на высотах 5, 10, 15, 20 км и построением схем локальных аномалий $\Delta g_{\text{лок}} = \Delta g_{\text{н}} - \Delta g_{h=5}$ и т.д.;

в) вычисление разности аномальных значений Δg на высотах 5–10, $h = 5-15, 10-20$ км и построением схем интервальных значений $\Delta g_{\text{инт}} = \Delta g_{h=5} - \Delta g_{h=10}$; $\Delta g_{h=10} - \Delta g_{h=15}$ и т.д.

Выбор высот (параметров) пересчёта в выполненных процедурах обусловлен априорной геологической моделью Прикаспия, точнее глубиной залегания основных гравиактивных поверхностей: кровлей и подошвой соли, фундамента, границы Мохоровичича. Вычисление разности между различными уровнями высоты позволило сузить диапазон возможного интервала геологического разреза, в котором можно ожидать проявления аномалиеобразующих масс в подсолевом палеозое. Для обработки наблюдаемые поля были представлены в виде числовых матриц из 12 тысяч элементов для карт масштаба 1:1000000.

В процессе истолкования геофизических данных была использована традиционная комплексная геологическая интерпретация. Несмотря на соответствие сочетаний Δg и ΔT разнообразным геологическим структурам и геологическим ситуациям, существуют исследования, которые делают более конкретные выводы о связи аномалий с тектоническим планом. В частности, соотношение $+\Delta g +\Delta T$ рассматривается как индикатор приподнятых участков фундамента, $-\Delta g$ и $-\Delta T$ отображает максимально погруженные зоны кристаллического основания и горизонтов осадочного чехла, $-\Delta g +\Delta T$ отвечает наложенным впадинам, локализующимся над приподнятыми блоками магнитоактивного фундамента.

Положительным структурам в большинстве случаев соответствуют понижения значений ΔT и знакопеременное поле Δg . Выступы-блоки, обусловленные разрывными нарушениями и представляющие конечный результат всех тектонических преобразований, отображаются минимумами ΔT , ограниченными по периферии линейными максимумами.

Критериальным моментом ресурсной привлекательности лицензионных участков можно считать рассмотренные инверсные сочетания аномалий магнитного и гравитационного поля.

Результаты исследования и их обсуждение

Наблюдаемое гравитационное поле Прикаспийской впадины, представленное в масштабе 1:1000000, характеризуется сложной картиной изолиний, отображаемых в замкнутых аномалиях разнообразной формы, интенсивности и простирания.

Объяснить наблюдаемые крупные, интенсивные (до 30–40 мГл) аномалии влиянием только соленосной толщи не удастся даже при изменении плотности межкупольных отложений за пределы разумного. Можно предположить связь аномалий с крупными структурами подсолевого ложа во внутренней части Прикаспийской впадины. Следовательно, можно прогнозировать благоприятные условия для образования рифогенных структур, перспективных на нефть и газ.

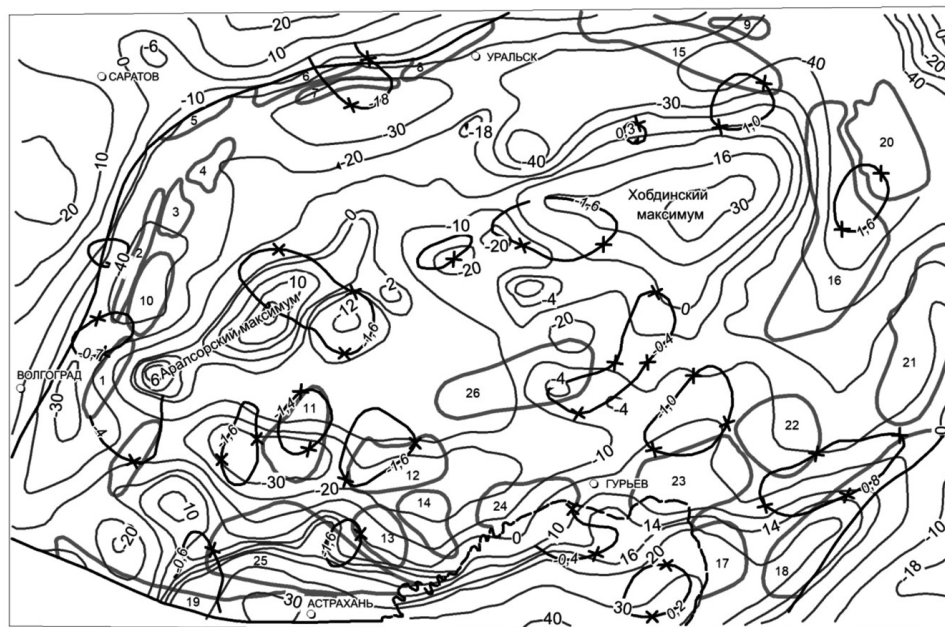
Магнитное поле Прикаспийской впадины в региональном плане отличается спокойным характером. Мозаичная структура магнитного поля юга и востока впадины объясняется тем, что подсолевое ложе залегает на сравнительно меньшей глубине и немагнитные соляные купола и разделяющие их мульды, выполненные песчано-глинистыми отложениями с повышенной намагниченностью, проявляются лучше, чем в погруженных областях – западной и центральной частях впадины, где отмечаются слабоинтенсивные масштабные аномалии. Линия бортового уступа не находит отражения в магнитном поле.

Анализируя карты трансформированных полей, построенных для разных уровней (рисунок), можно отметить, что на высоте 15 км в гравитационном поле, редуцированном за влияние солянокупольной тектоники, четко просматриваются северо-западная и южная бортовые зоны впадины. С Аралсорским максимумом со-

впадает линейная структура гравитационного поля, простирающаяся с юго-запада на северо-восток с изменением значений от +15 до –15 усл. ед. Хобдинский максимум силы тяжести, имеющий треугольную форму, ограничен градиентной зоной с перепадом значений до 50 усл. ед. По всей территории Прикаспийской впадины наблюдаются крупные относительные максимумы и минимумы с амплитудой 30–50 усл. ед. и размерами 50–100 км, оконтуренные зонами высоких горизонтальных градиентов в 2–4 усл. ед/км. На природу этих аномалий, полученных при пересчетах на высоту, могут быть разные точки зрения.

Сопоставляя тектонические элементы со структурой преобразованных магнитных полей, отмечаем отсутствие строгой закономерной связи между структурами фундамента и аномалиями поля ΔT . Большинство элементов: Астраханский и Гурьевский своды, Южно-Эмбенское и Джаныбекское поднятия, Палласовский и Упрямовский валы – расположены в зонах перехода значений от +2 до –2 усл. ед. В отличие от гравитационного поля, замкнутые отрицательные аномалии $-\Delta T$ по конфигурации совпадают с контурами Азгирского, Мынтобинского, Октябрьского поднятий, а замкнутые положительные с Кзылджарским, Тенгизским, Илекским выступами фундамента. Такое сложное отображение тектонических особенностей региона еще раз свидетельствует о неоднозначной интерпретации потенциальных полей при анализе результатов каждого метода в отдельности.

Карты интервальных трансформаций, в сравнении с осредненной, плавной рисовкой изолиний Δg , представляют собой сложную картину набора знакопеременных разноплановых по форме и размерам аномалий с сохранением конфигурации изолиний бортовой зоны и внутренних областей. Разломы и солянокупольная тектоника формируют вдоль реки Урал полосу меридионального простирания с чередованием изометричных максимумов и минимумов. Очертания крупных и интенсивных аномалий осложнены мелкими замкнутыми и полужамкнутыми элементами поля, а в пределах областей постоянных значений поля локализованы аномалии небольших амплитуд. В контурах интервальных аномалий частично просматриваются очертания тектонических элементов. Критерий инверсности гравимагнитных полей усматривается в части северо-запада Хобдинского регионального максимума.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- изоаномалы трансформированных значений силы тяжести;
- изоаномалы трансформированных значений магнитного поля;
- контуры положительных тектонических элементов;
- границы Прикаспийской впадины;
- берег Каспийского моря.

Тектонические элементы по данным А.К. Замарёнова, 1989 г.

Волгоградско-Оренбургская система поднятий:

- 1- Ахтубинский вал; 2- Упрямовский вал; 3- Палласовский вал; 4- Питерско-Новоузенский вал;
- 5- Карпенский вал; 6- Дергачевско-Озинский вал; 7- Алтатинско-Никольский вал; 8- Тепловский вал;
- 9- Илекский вал.

Поднятия:

- 10- Джаныбекское; 11- Азгирское; 12- Мынтобинское; 13- Кобяковское; 14- Октябрьское.

Зоны поднятий:

- 15- Карачаганакско-Кобландинская; 16- Кзылджарская; 17- Каратон-Тенгизская; 18- Южно-Эмбенская;
- 19- Каракульско-Смушковская.

Своды:

- 20- Темирский; 21- Жаркомынский; 22- Биикжалский; 23- Гурьевский; 24- Новобогатинский;
- 25- Астраханский; 26- Жайский.

Схема распределения региональных аномалий потенциальных полей Прикаспийской впадины

Совместный анализ потенциальных трансформированных полей показывает, что в восточной части впадины форма и простираие изоаномал крупной положительной заливообразной аномалии ΔT совпадает по этим же параметрам с отрицательной обширной аномалией Δg , что свидетельствует о едином источнике потенциальных полей в районе Мугуджар. Прилегающая с запада к этому региону область

Хобдинского максимума силы тяжести ограничивается на севере высокоамплитудной гравитационной ступенью, совпадающей с линейной субширотной градиентной зоной магнитного поля. Последняя меняет свое направление к югу по аналогии с полем силы тяжести, а на юго-западе области этого максимума изолинии магнитного поля как бы пересекают изоаномалы гравитационного поля.

Интересен район между Аралсорским и Хобдинским максимумами, где отрицательная зона Δg , прилегающая к юго-западному борту Хобдинского треугольника, осложнена изометричной интенсивной положительной аномалией ΔT , которая проявилась в локальных формах поля силы тяжести и соответствует в магнитном поле интенсивной градиентной зоне. Именно в этом районе по данным сейсморазведки на глубинах 9–10 км выделяется Кушумский свод [5].

Анализ литературы сформировал исторический аспект во взглядах на природу аномалий Δg и ΔT . В.В. Знаменский и Ю.А. Косыгин считали, что Хобдинскому и Аралсорскому региональным гравитационным максимумам соответствует подъем плотных пород палеозоя и кристаллического фундамента [6]. Э.Э. Фотиади полагал, что Хобдинский и Аралсорский региональные гравитационные максимумы отражают глубоко погруженные выступы фундамента, аналогичные Татарскому своду. Предпринятые им расчеты магнитных аномалий показали, что в центральной части Хобдинского максимума кристаллический фундамент залегает на глубине 7,5 км, а непосредственно к северу от Хобдинского максимума глубина его залегания увеличивается до 9 км [6]. Н.В. Неволин пришел к выводу, что Хобдинский гравитационный максимум может быть полностью объяснен, если допустить наличие в его районе докембрийского выступа сокращенной мощности отложений палеозоя [6]. Повсеместно принимая в качестве поверхности Мохо преломляющую границу со скоростью распространения упругих колебаний 8,0 км/с, Н.Я. Кунин составил схему рельефа поверхности Мохо Прикаспийской впадины, где выделил несколько выступов, в числе которых три в центральной части с минимальными глубинами залегания подошвы земной коры 30–34 км – Хобдинский, Аралсорский и Нижне-Волжский. Закономерная взаимосвязь между поднятиями поверхности Мохо и гравитационными аномалиями наблюдается относительно надежно лишь в районе Хобдинского максимума. Аралсорский и Астраханский гравитационные максимумы лишь приближенно коррелируются с выступами верхней мантии. Далее автор предполагает, что выступы верхней мантии в Прикаспийской впадине принадлежали некогда единой линейной рифтогенной структуре, а их современная позиция является следствием крупных горизонтальных перемещений блоков. В 1960 г.

В.С. Журавлевым были выделены Хобдинский и Аралсорский мегантиклиналы, в 1970-е гг. Э.К. Азнабаевым и др. – Ново-надеждинский свод, в 1970 г. Ю.П. Конценебиным выделен ряд поднятий подсолевого ложа и фундамента в центральной части. С Хобдинским и Аралсорским региональными максимумами связывали либо поднятие палеозойских отложений, либо их расценивали как зоны, приближающиеся к депрессионным участкам Прикаспийской впадины, или даже как область ее максимального прогибания. Наконец, некоторые исследователи трактовали их как поднятие плотных пород палеозоя и кристаллического фундамента.

При рассмотрении карт аномалий силы тяжести Δg_{5-10} , Δg_{15} и магнитного поля ΔT_{10} видно, что Прикаспийская впадина в целом и ее центральная часть дифференцированы. Если исходить из общепринятой точки зрения на строение и развитие впадины, то центральная ее часть должна быть по своему структурно-вещественному строению намного «спокойнее» (проще) окраинных областей, однако в региональных трансформантах она дифференцирована по площади одинаково.

Практически не совпадают между собой трансформированные аномалии силы тяжести и магнитного поля, что может указывать на различные источники аномалий Δg и ΔT . В то же время встречаются участки, где предполагается моногеничность источников аномалий – район Темирского свода, Южно-Эмбенского поднятия, северная оконечность Хобдинского максимума. Кроме этого, выделяются области, известные своей нефтегазоперспективностью (Астраханский свод, Каратон-Тенгизская зона поднятий), где отмечается ортогональность потенциальных полей. В таких областях, кроме указания на различные источники аномалий, признак инверсного соотношения полей Δg и ΔT может характеризовать определенную взаимосвязь осадочного чехла с глубокими структурами Прикаспийской впадины.

Выделенные сочетания $-\Delta T + \Delta g$ приурочены к известным площадям Астраханского свода, частично – Южно-Эмбенского поднятия, Биикжальского и Гурьевского сводов.

Зона центральной депрессии включает два подобных участка, расположенных в пределах Аралсорского и Хобдинского гравитационных максимумов. Прибрежная Северо-Каспийская приподнятая зона, восточное продолжение Астраханско-Актю-

бинских поднятий и участок внутренней прибортовой зоны Прикаспия тоже попадают в зоны сочетания $-\Delta T + \Delta g$. Обращает на себя внимание конфигурация зон некоторых сочетаний. Зона Хобдинского максимума, напоминающая треугольник, соединена с такой же по конфигурации зоной. Исходя из этого соотношения, можно предположить, что область сочленения треугольников находится в центре деструктивной зоны, явившейся корневым элементом областей сегментообразной формы различных сочетаний потенциальных полей.

В целом Хобдинский региональный максимум может быть выступом-блоком, но наличие отрицательной магнитной аномалии $-\Delta T$ в центральной части Хобдинского максимума может служить основанием для одного из двух выводов. С одной стороны, соотношение $+\Delta g - \Delta T$ отображает возможную карбонатную постройку, расположенную на склоне цокольного поднятия, а с другой – резкие изменения ΔT по периферии отрицательной аномалии $-\Delta T$ в положительном поле Δg , указывают на существование поднятий в подсолевом ложе.

При сопоставлении тектонической схемы с полученными нами материалами видно (рисунок), что восточная часть Центрально-Прикаспийской депрессии характеризуется областью, которой соответствует положительная аномалия силы тяжести на карте трансформант, эта же область совпадает с выступом по поверхности Мохо и по подошве подсолевых отложений, а также попадает на отрицательную градиентную зону в магнитном поле. Все это подтверждает главный вывод о возможном подъеме всех отражающих горизонтов в этом районе. Область с такими же признаками (максимум Δg , градиент ΔT , подъем мантии) фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии. Возможно, и здесь имеется поднятие аналогичное указанному выше.

Заключение

Таким образом, в результате анализа можно констатировать, что в зонах структурной дифференциации центральной части впадины могут быть выделены разнообразные геоструктурные элементы, как возможные ловушки, перспективные в нефтегазоносном отношении. В частности, в районе Хобдинского максимума возможно существование приподнятой относительно

депрессивной части зоны, в пределах которой располагается цоколь для дальнейшего роста крупных карбонатных построек типа «Карачаганак». Зона с такими же признаками фиксируется и в западной части Центрально-Прикаспийской депрессии в районе Аралсорского максимума силы тяжести. В результате выполненных работ сформированы участки ресурсной привлекательности возможных источников стратегических запасов углеводородов.

Список литературы / References

1. Куранов Ю.В. Современная оценка перспектив нефтегазоносности и ресурсной базы Республики Калмыкия на основе новейших геолого-геофизических данных // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 1. С. 103–111.
2. Kuranov Yu.V. Modern assessment of the hydrocarbon potential and resource base of Repablik of Kalmykia, supplemented the newest geological data // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science. 2017. № 1. P. 103–111 (in Russian).
3. Мурзин Ш.М. Модель формирования прибортовых соляных куполов в Прикаспийской впадине // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Геологический. 2010. № 6. С. 21–24.
4. Murzin Sh.M. Model of marginal salt domes origin in Pre-Caspian Depression // Byulleten' Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel Geologicheskiiy. 2010. № 6. P. 21–24 (in Russian).
5. Подгорная Е.В., Постнова Е.В., Воробьева Е.В., Яцкевич С.В. Особенности тектонического строения и этапы формирования современного структурного плана юго-востока Рязано-Саратовского прогиба // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2013. № 3. С. 4–11.
6. Podgornaya E.V., Postnova E.V., Vorobieva E.V., Yatskevich S.V. Some specific features of tectonic structure and stages of modern structural plan formation of the south-eastern part of Ryazano-Saratovsky trough // Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. 2013. № 3. P. 4–11 (in Russian).
7. Рыскин М.И. Локализация аномалий геопотенциальных полей на основе применения частотных и корреляционных преобразований // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2017. Вып. 1. С. 52–57. DOI: 10.18500/1819-7663-2017-17-1-52-57.
8. Riskin M. I. Localization of the Anomalies of Geopotential Fields on the Basis of the Frequency and Correlation of Change // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle. 2017. № 1. P. 52–54 (in Russian).
9. Волкова Е.Н. Совершенствование комплексной обработки к интерпретации потенциальных полей с целью выделения нефтегазоперспективных участков (на примере Прикаспийской впадины): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. 04.00.12. Саратов, 1995. 23 с.
10. Volkova E.N. Perfection of complex processing to interpretation of potential fields for the purpose of allocation of oil and gas perspective sites (on the example of the Caspian depression): avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk. 04.00.12. Saratov, 1995. 23 p. (in Russian).
11. Журавлев В.С. Основные черты глубинной тектоники Прикаспийской синеклизы. М.: Изд. АН СССР, 1960. 279 с.
12. Zhuravlev V.S. the Main features of the deep tectonics of the Caspian syneclyse. M.: Izd. AN SSSR, 1960. 279 p. (in Russian).