marked area and are localized at the structural nodes of III-IV order strike-slips intersections. They are concentrated vein and meta-grained manifestations of barite, sphalerite, pyrite and calcite with red and blue photoluminescence, light isotope composition of carbon and oxygen that indicate discharge sites of high temperature waters. Kimberlite pipes and dykes occupy areas of up to 1 km^2 and are located in the local extension zones of diagonal ore-hosted strike-slip (pull apart, accommodation, intersection of strike-slips) which are established by the micro deformations mapping of the Lower Paleozoic layers. In such areas there are explosive deformations of the host rocks fixed by structural-petrophysical data, manifestations of fluid-fracturing formations, halos of impregnated high-temperature gases (CO_2, CH_4, etc.). The areas are characterized by mineralogical-geochemical, gas-geochemical and isotope-geochemical parameters that reflect local sites of high-temperature waters discharge.

Keywords: kimberlite, ore-enclosing rocks, paleo-seismogenic dislocations, tectonics, fluid-fracturing, carbon isotopes, oxygen and sulfur isotopes, gas-geochemical halos.

References

1. Ignatov P. A., Novikov K. V., Shmonov A. M., Razumov A. N., Kilizhikov O. K. Comparative analysis of ore-bearing structures in Maiskoe, Markha, and Ozernoe kimberlite bodies at the Nakyn field, Yakutia. *Geology of Ore Deposits*. 2015. Vol. 57, No. 2. pp. 111–117.
2. Ignatov P. A., Novikov K. V., Zaripov N. R., Khodnya M. S., Shmonov A. M. Et al. Set of unconventional signs for prospecting primary diamond deposits in restricted areas. *Problems of Minerageny, Economic Geology and Mineral Reserves (Smirnov's Collection–2017) : Scientific Literature Almanac.* Moscow : MAKS Press, 2017. pp. 207–228.
3. Shmonov A. M. Structural, geological, mineralogical and geochemical features intrinsic to diamond dykes and veins (in terms of the Nakyn kimberlite field in Yakutia) : thesis of inauguration of Dissertation … of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2014. 23 p.
4. Shtein Ya. I. Geological features the adjacent rock mass of kimberlite pipes in Yakutia as the primary diamond deposit criterion in local areas : Dissertation … of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 1997. 138 p.
5. Kiselev A.I., Yegorov K.N., Chernyshov R.A., Chashchukhin A.V., Yanygin Yu.T. The nature of basic explosive breccias within the Nakyn kimberlitic field (Yakutian diamondiferous province). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2004. Vol. 23, No. 1. pp. 97–104.
6. Giuliani A. Insights into kimberlite petrogenesis and mantle metasomatism from a review of the compositional zoning of olivine in kimberlites worldwide. *Lithos*. 2018. Vol. 312–313. pp. 322–342.
7. Kostrovitsky S. I., Spetsius Z. V., Yakovlev D. A., Von-der-Flaas G. S., Suvorova L. F., Bogush I. N. Atlas of Primary Diamond Deposits in the Yakutia Kimberlite Province. Mirny : MGT, 2015. 480 p.
8. Soltys A., Giuliani A., Phillips D. A new approach to reconstructing the composition and evolution of kimberlite melts: A case study of the archetypal Bultfontein kimberlite (Kimberley, South Africa). *Lithos*. 2018. Vol. 304–307. pp. 1–15.
9. Shaikh A. M., Patel S. C., Ravi S., Behera D., Pruseth K. L. Mineralogy of the TK1 and TK4 'kimberlites' in the Timmasamudram cluster, Wajrakarur Kimberlite Field, India: Implications for lamproite magmatism in a field of kimberlites and ultramafic lamprophyres. *Chemical Geology*. 2017. Vol. 455. pp. 208–230.
10. Smith C. B., Haggerty S. E., Chatterjee B., Beard A., Townend R. Kimberlite, lamproite, ultramafic lamprophyre, and carbonatite relationships on the Dharwar Craton, India; an example from the Khaderpet pipe, a diamondiferous ultramafic with associated carbonatite intrusion. *Lithos*. 2013. Vol. 182–183. pp. 102–113.
11. Sibson R. H., Scott J. Stress/fault controls on the containment and release of overpressured fluids: Examples from gold-quartz vein systems in Juneau, Alaska; Victoria, Australia and Otago, New Zealand. *Ore Geology Reviews*. 1998. Vol. 13, Iss. 1–5. pp. 293–306.
12. Sillitoe R. H. Ore-Related Breccias in Volcanoplutonic Arcs. *Economic Geology*. 1985. Vol. 80, No. 6. pp. 1467–1514.
13. McCalpin J. (Ed). Paleoseismology. New York : Academic Press, 2009. 629 p.
14. Bushkov K. Yu. Structure of the Nakyn kimberlite field and signs of hidden strike–slip kimberlite-control structures : thesis of inauguration of Dissertation … of Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences. Moscow, 2006. 21 p.
15. Gladkov A. S., Koshkarev D. A. Fault zone structure as a sign for prospecting primary diamond deposits. *Geological Support of Diamond Reserves Supply (Problems, Solutions, Innovations and Technologies) : IV Regional Scientific–Practical Conference Proceedings.* Mirny, 2014. pp. 44–48.
16. Faure G. Principles of Isotope Geology. New York : John Willey & Sons, 1987. 606 p.

УДК 551.2

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КАСПИЙСКО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА

В. Ю. КЕРИМОВ[1], *проректор по научной работе, проф., д-р геол.-минерал. наук*
Р. Н. МУСТАЕВ[1], *начальник Управления фундаментальных и прикладных научных исследований, канд. геол-минерал. наук,*
mustaevrn@mgri-rggru.ru
У. С. СЕРИКОВА[1], *доцент, канд. техн. наук*
К. И. ДАНЦОВА[2], *ассистент*

[1] *Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия*
[2] *Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, Москва, Россия*

Детально освещены результаты исследований, позволяющие повысить точность определяемых геодинамических механизмов.

Ключевые слова: *Каспийско-Черноморский регион, геофлюидодинамика, сейсмическая активность, напряженность недр, геомеханическая модель, дилатансия.*
DOI: *10.17580/gzh.2018.11.03*

Введение

Важнейшая особенность структуры Каспийско-Черноморского региона – напряженное состояние ее недр, высокая и разнообразная геодинамическая, вулканическая, сейсмическая и геофлюидодинамическая активность. С геодинамической активностью связаны различные виды разрядки флюидодинамической напряженности недр, прежде всего интенсивные восходящие разгрузки разнообразных подвижных флюидов и их компонентов и проявление термобарических аномалий. Ярким проявлением геодинамической активности является ее взрывная разновидность – «осадочный» вулканизм: грязевой, газовый и нефтяной и смешанный, которые, в свою очередь, определяют интенсивность геофлюидодинамических процессов.

Геодинамические механизмы формирования и эволюции структуры Каспийско-Черноморского региона, процессы возникновения и развития дизъюнктивов, региональных и локальных структурных форм, генетические связи и пространственные взаимоотношения последних в различных по геологической истории и геотектонической принадлежности регионах определяются, регулируются и контролируются рядом факторов, отдельные из которых в тех или иных конкретных ситуациях приобретают доминирующий характер. Представляется возможным полагать,

в частности, что в бассейнах альпийских подвижных поясов Каспийско-Черноморского региона, выполненных мощным комплексом чередующихся компетентных и некомпетентных пород, одним из основных факторов формирования геологических форм и процессов является сингенетичное аномально высокое поровое давление глинистых толщ, характеризующихся инверсией плотности в осадочном разрезе и низкой прочностью на сдвиг.

Сопровождающееся тектоническими подвижками быстрое, компенсированное осадконакоплением, погружение мощных глинистых интервалов, особенно если они выполнены смектитовыми разностями, приводит ко многим явлениям: резкому замедлению оттока поровых флюидов и темпов уплотнения осадков, определяющему генерацию в них аномально высоких поровых давлений, нередко приближающихся к литостатическим значениям; причинно обусловленному этим обстоятельством развитию процессов природного гидроразрыва, сочетающихся с формированием трещиноватости и конседиментационных дизъюнктивов; образованию дисгармоничной и диапировой складчатости; грязевому вулканизму и т. п.

Методика исследований

Основными методами исследований, использованными в работе, являются: палеотектонические реконструкции, геомеханическое моделирование и численное пространственно-временно́е бассейновое моделирование. Для реконструкции геодинамических процессов была использована технология геомеханического моделирования, реализованная в программном комплексе Dynel компании Schlumberger. На основе анализа созданных геомеханических реконструкций появляется принципиальная возможность сформировать представление о развитии сегментов развития складчатости и разломов. В целом создание ретроспективной структурной модели позволяет исследовать геодинамические механизмы эволюции Каспийско-Черноморского региона. В особенности это важно для районов развития мощных глинистых толщ, для которых становится возможным проследить эволюцию во времени отдельных складчатых форм и их сопряженных комбинаций, а также – разрывных нарушений с целью оценки и определения объектов геофлюидодинамических процессов.

Для реконструкции геодинамической эволюции структуры бассейнов кайнозойского возраста Каспийско-Черноморского региона с использованием технологии компьютерного бассейнового моделирования была проведена реконструкция истории прогибания и осадконакопления, воздымания и эрозии осадков, а также истории и последовательности образования разломов и пликативных структур в осадочном чехле рассматриваемого региона и отдельных его частей. Для исследования геофлюидодинамических процессов было проведено моделирование генерационно-аккумуляционных углеводородных (УВ) систем с использованием технологии бассейнового моделирования и программного обеспечения PetroMod (компании Schlumberger).

Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что для изменения своей формы (или размеров) без разрыва сплошности в материальном теле должно произойти перераспределение в пространстве отдельных его элементарных составляющих, или сами эти составляющие должны изменить свою форму (или размер). То есть геологическое тело должно обрести внутреннюю объемную подвижность – способность к течению. Все механизмы деформации сред связаны с формированием их дискретной структуры, какими являются глинистые толщи. Система «деформируемая среда – включенное в нее менее вязкое тело» не является равновесной. В более текучем и менее вязком теле возникает избыточное давление, действие которого направлено на прорыв среды, так как деформации менее вязкого тела имеют бо́льшую величину. В результате происходит выжимание более текучих тел в направлении областей с меньшим литостатическим давлением, т. е. в конечном счете по направлению к земной поверхности. Происходит и латеральная миграция горных масс, в том числе содержащейся в породах флюидной фазы. Экспериментально доказано, что при пластической деформации дискретных сред происходит увеличение объема вещества (дилатансия). В песчаниках увеличение объема может достигать 20 %, а в глинах – до 50 %.

Результаты обобщения данных грязевых вулканов и обратных (инверсионных) соотношений структур в вертикальном разрезе скважин сверхглубокого бурения позволяют рассматривать складчатую структуру как следствие процессов флюидной динамики, активно протекающих в настоящее время в осадочном чехле. Исследование кайнозойского комплекса Каспийско-Черноморского региона не оставляет никаких сомнений в фактическом развитии в земной коре пластового, стратиформного, сводового характера залежей и месторождений углеводородов. Это означает, что главным объектом внимания с позиции нефтегазоносности в кайнозойском комплексе Каспийско-Черноморского региона должны стать мощные толщи пластичных, преимущественно глинистых пород-волноводов, а не только отдельные составляющие эти толщи горизонты. Надо полагать, что само возникновение цепочек антиклинальных структур в предгорных и межгорных прогибах, к примеру в Каспийско-Черноморском регионе, является следствием нагнетания или инъекции УВ-флюидов в осевые зоны этих структур, прослеживаемых в осевых полосах валов, мегавалов и цепочек антиклинальных складок. Поэтому в осевых полосах указанных положительных структур фиксируются аномально высокие поровые давления (АВПоД).

На **рис. 1** показаны структурные соотношения между разновозрастными формационными комплексами отложений в вертикальном разрезе земной коры в Южно-Каспийской впадине (ЮКв), очевидна реальность и существенная значимость автономных процессов флюидной динамики в формировании складчатой структуры волноводов или астенослоев осадочного чехла земной коры. В частности, из приведенной схемы следует, что Апшеронский полуостров, Апшеронский порог и Прибалханская зона соответствуют единому, широтно ориентированному региональному минимуму силы тяжести и вместе с тем морфологически четко выраженному в структуре поверхности мезозойских отложений прогибу.

На **рис. 2** демонстрируется процесс формирования автономной складчатой структуры кайнозойского поверхностного выполнения ЮКв, где наглядно выражен обратный характер структурных

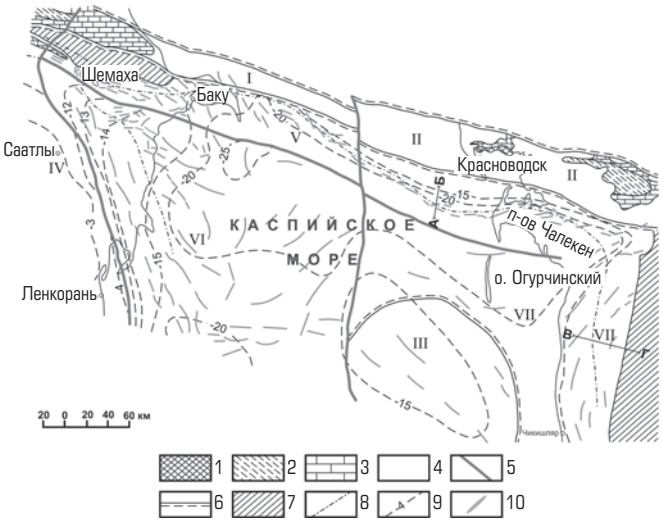

Рис. 1. Структурная схема Южно-Каспийской впадины:
1 – палеозой; *2* – нижняя и средняя юра; *3* – верхняя юра и мел; *4* – кайнозойский комплекс отложений; *5* – разломы, определяющие блоковую структуру консолидированной коры; *6* – структурные границы осевых зон складчатого сооружения Большого Кавказа и поднятия Куба-Даг-Большой Балхан; *7* – региональные тектонические покровы; *8* – оси региональных минимумов силы тяжести; *9* – изогипсы рельефа поверхности консолидированной коры; *10* – антиклинальные структуры в осадочном чехле.
I – осевая зона складчатого сооружения Большого Кавказа; II – поднятие Куба-Даг-Большой Балхан; III – Южно-Каспийское погребенное поднятие (поднятие Година); IV – Талыш-Вандамское погребенное поднятие; V – складчатая зона (антиклинорий Апшеронского порога и ее сухопутные продолжения); VI – система складчатых структур западного борта Южно-Каспийской впадины; VII – система складчатых структур восточного борта Южно-Каспийской впадины.

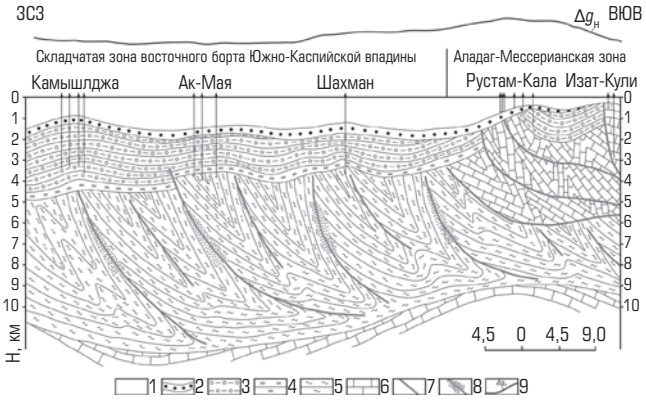

Рис. 2. Профильный геологический разрез восточного борта Южно-Каспийской впадины:
1 – апшеронский ярус (верхняя часть верхнего плиоцена) и антропоген; *2* – акчагыльский ярус (нижняя часть верхнего плиоцена); *3* – средний плиоцен; *4* – нижний плиоцен; *5* – миоцен и палеоген; *6* – мел; *7* – тектонические нарушения; *8* – предполагаемые жильные зоны нефтегазонакопления; *9* – кривая наблюденного поля силы тяжести в редукции Буге

соотношений между мезозойским складчатым основанием и кайнозойским осадочным чехлом. Очевиден автономный, обеспечиваемый собственной энергетикой характер чешуйчатой складчатой структуры этой пластичной толщи пород, что позволяет сделать весьма существенный вывод: энергетические возможности толщи пластичных пород главным образом определяются энергетическим потенциалом углеводородов и геофлюидодинамическими процессами, что и нашло отражение в формировании ее сложной изоклинально-чешуйчатой складчатой структуры.

В общем случае следует полагать облигатным соответствие максимального воздымания компетентных пород зонам максимального накопления и мощности подстилающих глин, т. е. прогибам по некомпетентной серии – региональным гравитационным минимумам. Эффект реальности названного механизма четко иллюстрируется материалами по ЮКв и Индоло-Кубанскому, Терско-Каспийскому прогибам, где в интервалах, залегающих над мощной (3–5 км) недоуплотненной глинистой толщей палеоген-миоцена, широко развиты высокоамплитудные бескорневые локальные поднятия, формирующие весьма протяженные антиклинальные зоны и пояса кулисообразного сочленения [1–2]. Исходя из изложенного, мощные неконсолидированные палеоген-миоценовые глинистые толщи бассейнов Каспийско-Черноморского региона следует рассматривать как своеобразный, активно функционирующий тектоно-энергетический «котел», определяющий региональную структуру вышезалегающих комплексов. Очевидно, что сама глинистая толща в этих условиях представляет собой предельно неравновесную геосистему, характеризующуюся исключительно сложным неупорядоченным строением, горизонтально-вертикальной (квазиволновой) мобильностью пластичного вещества и т. п.

В исследуемом регионе тектонические деформации, обусловленные направленной реализацией упругопластичных свойств глин в ходе их литостатической и геотектонической консолидации, не только передаются в перекрывающие и подстилающие интервалы с образованием проецированных структур (складки облекания, вдавливания – штамповые, мульды проседания и т. п.), но и определяют региональное формирование покровно-шарьяжной складчатости, обеспечивающей несовпадение структурных планов различных комплексов и сопровождающейся кливажем и интенсивным проявлением в основном разрывной тектоники, а также развитие диапиризма и грязевого вулканизма, сочетающихся с образованием нарушений, чаще всего типа разломов.

Образование конкретных региональных и локальных складчатых форм и разрывных нарушений – функция нескольких факторов, главными из которых являются характер сочетания в разрезе отдельного района компетентных и некомпетентных толщ, превалирующий в ходе его геологической истории знак тектонических движений, доминирующее направление приложения уплотняющей нагрузки и орогенно-стрессовых эффектов. Наиболее вероятными представляются модели формирования структурных

форм (**рис. 3**) со следующими вариантами соотношений указанных переменных:

I – *неперекрытая мощная глинистая толща, залегающая на компетентном основании, испытывает одноосно приложенную гравитационную нагрузку под действием собственного веса в процессе перманентного погружения – иммерсионная стадия тектогенеза;*

II – *та же толща – на инверсионной стадии при направлении уплотняющих усилий преимущественно снизу вверх под влиянием геодинамических эффектов – вертикальных подвижек основания;*

III – *глинистая толща на обеих стадиях геологического развития находится под дополнительным воздействием тангенциально направленных сил – боковых сжимающих моментов со стороны жесткого монолита;*

IV – *глинистая формация залегает между компетентными толщами – обе стадии тектогенеза и все названные сочетания приложения уплотняющих усилий;*

V – *глинистая формация залегает между компетентными толщами над активными как в иммерсионной, так и в инверсионной стадиях тектогенеза глубинными разломами;*

VI – *глинистая формация горизонтально смещается с интенсивным структурообразованием;*

VII – *глубинные разломы в вышележащих пластичных глинистых толщах вызывают течение и скучивание породы, образуя линейно вытянутые гребневидные антиклинали*.

Реализация указанных моделей в конкретной геологической обстановке предполагает доминирование в геодинамическом механизме явления релаксации кумулятивной энергии сжатых в поровом пространстве глин флюидов. Приложение внешних сил может играть в этих случаях в основном роль первичного импульса, вызывающего последующие эффекты за счет разрядки внутренней энергии некомпетентной толщи.

В рамках *I модели* масштабы влияния гравитационных консолидационных процессов, обусловленных ими АВПоД в глинистых толщах, и их пластичности на формирование складчатости относительно невелики, результатом чего является в основном образование структур заполнения неровностей рельефа подстилающего компетентного комплекса с возможным некоторым смещением осей новообразованных прогибов в сторону жестких выступов. Примерами подобного рода могут служить центральная, наиболее погруженная зона Южно-Каспийской впадины, где многокилометровая, преимущественно глинистая (95–98 %) кайнозойская формация почти согласно залегает на мезозойском субстрате [3, 4].

В условиях *II модели* на инверсионном этапе, сопровождающемся интенсивными вертикальными подвижками жесткого основания, консолидирующие усилия, фокусирующиеся главным образом снизу вверх (в глинистую толщу), по своей величине чаще всего значительно превышают противоположно векторальную гравитационную нагрузку, что приводит не только к формированию крупноамплитудных структур вдавливания (штамповых) в глинистом комплексе и развитию в нем тектонических нарушений, зон динамоморфической трещиноватости и т. п., но и к некоторому смещению планов складчатости, в особенности на участках развития наиболее водонасыщенных – пластичных глин с кульминационными АВПоД гравитационной генерации. Реальная геологическая обстановка этой

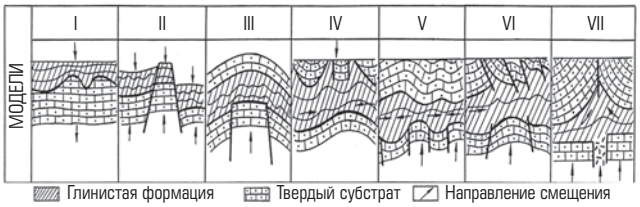

Рис. 3. Модели формирования структурных форм

модели характерна, в частности, для ряда воздымающихся бортовых обрамлений межгорных альпийских впадин и передовых прогибов, как, например, ЮКв (Северо-Апшеронская зона поднятий – суша и море), северная зона Терско-Каспийского прогиба и др. [5, 6].

Приложение бокового сжатия к условиям рассмотренных вариантов – *III модель* – существенным образом усиливает дисгармоничность складчатости, способствует формированию покровно-шарьяжной тектоники, особенно при наличии твердого экрана с противоположной действующим силам стороны приводит к заметному (в зависимости от интенсивности эффекта) скольжению пластичных глинистых масс по поверхности компетентного основания, их подвороту, а в отдельных случаях – и к опрокидыванию. Результатом влияния этого фактора является, как правило, резкое несовпадение структурных планов жесткого и пластичного комплексов; широкое развитие в последнем дизъюнктивной дислокации, в основном надвиговой природы, кливажа, «закрученного» напластования глин; образование тектонобрекчий и др. Классическими примерами здесь могут служить Керченский и Таманский районы Индоло-Кубанского прогиба, кайнозойский этаж геосинклинального борта Терско-Каспийского прогиба, Кобыстанский район ЮКв, характеризующиеся всей совокупностью названных моментов [7–9].

Следующие три модели (см. рис. 3) отвечают условиям формирования складчатости в обстановке залегания некомпетентного интервала между жесткими нижним и верхним (независимо от возможности его последующего размыва) экранами. На иммерсионом этапе геологической истории – *IV модель* – подобное соотношение обусловливает возникновение дополнительной поверхностной нагрузки на консолидируемую глинистую толщу, чем, с одной стороны, интенсифицируется процесс генерации в ней АВПоД и, как следствие, происходит возрастание ее пластичности, трансформируемой в подвижность, а с другой – обеспечивается возможность образования в верхнем структурном этаже (особенно в зонах развития предельно мобильных разностей глин) грабенообразных построек и складок (мульд) проседания, сопровождающихся дизъюнктивами. На ослабленных, частично денудированных участках верхнего компетентного интервала, наоборот, создаются благоприятные условия для формирования крипто- и диапировой складчатости, связанной с внедрением пластичных пород в покрывающие более жесткие комплексы, и грязевого вулканизма. Неравномерное, как правило, распределение мощностей верхнего компетентного комплекса приводит к дифференциации нагрузки на слаболитифицированную глинистую толщу, что вызывает в ней гравитационное сбрасообразование и создает возможности для развития крипто- и диапировых форм. Примерами, иллюстрирующими это положение, могут служить Нижнекуринская и Джейранкечмесская депрессии,

Западный Апшерон (Южно-Каспийская впадина), Анастасиевско-Троицкая зона (Индоло-Кубанский прогиб). [9, 10–12].

Геотектоническая инверсия, характеризующая обстановку *V модели,* существенным образом осложняет складчатость, приводит к формированию чешуеморфной структуры непосредственно под верхним жестким экраном, способствует «закручиванию» глин, опрокидыванию пачек аргиллитизированного материала, образованию зон тектонического дробления пород, появлению и развитию дислокаций смятия, разрывных нарушений и др. Важное значение приобретают здесь явления естественного гидроразрыва в глинистой толще, определяющие распространение трещиноватости главным образом в нижней ее контактной части, а также различного рода динамические эффекты, провоцирующие вертикальные вверх перемещения глинистых масс, вплоть до прорыва верхней компетентной осадочной серии [12, 13].

VI модель, предполагающая участие боковых стрессов в складчатом процессе, реализуется на отдельных участках Центрального Кобыстана (ЮКв, Терской и Сунженской зон Терско-Каспийского прогиба), характеризующихся максимальным развитием горизонтальных смещений глинистой толщи покровного плана, интенсивным структурообразованием, явлениями опрокидывания складок. Типичным для этих условий является также формирование крупных покровных надвигов с величинами горизонтального смещения массивов пород до десятков и даже первых сотен километров, причинно сопряженных с нейтрализацией высоким давлением поровых вод гравитационной нагрузки покрывающей толщи и снижением трения в основании надвига при его перемещении [9, 14–16].

Весьма специфична геологическая ситуация, отвечавшая условиям *VII модели*. В ее рамках активно функционирующие глубинные разломы в вышележащих пластичных глинистых толщах вызывают течение и скучивание породы, образуя линейно вытянутые гребневидные антиклинали. В верхних компетентных толщах по образовавшимся в них еще в иммерсионной стадии тектогенеза зонам разуплотнения в инверсионной стадии создаются сколовые деформации, по которым в условиях общего тангенциального сжатия под напряжением скучивающихся пластичных глин происходит автономное воздымание блоков и образуются линейные антиклинальные структуры со смыканием крыльев по исходным разрывам. Эти поднятия выделяются авторами статьи под названием шовантиклиналей. Шовантиклинальные структуры характерны для зон современных инверсий с грабеновым строением нижних компетентных толщ. Классическим примером реализации описанной модели могут служить Ленгебиз-Алятская зона и междуречье Куры и Иори (ЮКв).

Очевидно, что рассмотренные модели не охватывают всей возможной совокупности природных условий и проявлений тектогенеза, и их следует рассматривать как генерализованное выражение многих частностей. В рамках проанализированных схем допустимо в то же время полагать, что в общем случае превалирование при тектогенезе горизонтальных (тангенциальных) усилий обеспечивает в основном формирование покровно-надвиговой складчатости в пластичных комплексах, а доминирование вертикальных – проецированных структур (облекания, вдавливания, проседания), диапиризма, грязевого вулканизма.

Рассмотренными геодинамическими механизмами, естественно, не исчерпывается все многообразие факторов, определяющих формирование и пространственное распространение аналогичных видов складчатости, дизъюнктивов и т. п. в иных геологических обстановках. Тем не менее допустимо полагать, что в специфической ситуации в бассейнах кайнозойского возраста Каспийско-Черноморского региона геодинамические механизмы, связанные с геофлюидодинамическими процессами – реализацией упругопластичных свойств мощных глинистых, играют в этих условиях превалирующую роль.

Степень относительной флюидодинамической активности Каспийско-Черноморского региона можно оценить частотой извержения грязевых вулканов. Установлена четкая связь зон развития грязевого вулканизма с регионами кайнозойских молассовых прогибов Каспийско-Черноморского региона, характеризующихся мощными толщами отложений орогенных комплексов. Усиление прогибания обеспечивает, с одной стороны, интенсивное накопление глинисто-песчаных образований, а с другой – формирование диапировых структур.

Заключение

Отличительной особенностью Каспийско-Черноморского региона является значительная активность различных геодинамических механизмов, играющих определяющую роль в проявлении сложных геофлюидодинамических процессов. Определяющим фактором в формирования закономерностей превращений, переноса и формирования некоторой самоорганизующейся структуры с характерными чертами пространственной изменчивости естественных полей (температуры, давления, плотности и др.) является дифференциация флюидальных сфер по интенсивности обновления. Оптимальным образом в осадочной толще поддерживаются те реакции (из числа возможных), характерные скорости которых согласованы с расходом вещества в системах дренов. Сам процесс превращения происходит при столкновении частиц (молекул, радикалов, ионных комплексов и т. д.). Это значит, что в зоне превращения вещества должны быть соизмеримы и конвективная, и диффузионная составляющие потока, т. е. основными зонами наиболее интенсивных химических превращений в подземной среде являются диффузионные пограничные слои конвективных зон – волноводы и примыкающие к ним высокоградиентные области диффузионных зон.

Волноводы в разрезе осадочного чехла Каспийско-Черноморского региона являются весьма энергонасыщенными интервалами, с высоким энергетическим потенциалом углеводородов и геофлюидодинамических процессов. Вследствие активного проявления геофлюидодинамических процессов непосредственно в толщах пластичных пород – волноводах происходит постоянное нарушение равновесия, что приводит к неизбежности перераспределения флюидов в объеме этих толщ пород, что, в свою очередь сопровождается перемещением и самих вмещающих флюиды пород. Последнее влияет на процессы складкообразования и возникновения сложных инверсионных, структурных соотношений между разновозрастными формационными комплексами отложений вследствие нагнетания или инъекции УВ-флюидов.

В бассейнах кайнозойского возраста Каспийско-Черноморского региона геодинамические механизмы, связанные с геофлюидодинамическими процессами – реализацией упругопластичных свойств мощных глинистых толщ, играют в этих условиях превалирующую роль. В более общем случае правомерно, видимо, заключение, что одним из существенных факторов формирования описанных типов складчатости в геосинклинальных районах является эффект проявления АВПоД в региональных геофлюидодинамических процессах.

Геофлюидодинамическую активность Каспийско-Черноморского региона можно оценить частотой извержения грязевых вулканов. Абсолютно все мелкофокусные землетрясения расположены исключительно в пределах геофлюидодинамически активных зон. Это свидетельствует о том, что геофлюидодинамические процессы являются одним из главных механизмов мелкофокусной сейсмичности. Энергия и мощность флюидогенерирующих процессов в очаге будут характеризовать силу мелкофокусных землетрясений и грязевых вулканов.

Библиографический список

1. *Ализаде А. А., Салаев С. Г., Алиев А. И.* Научная оценка перспектив нефтегазоносности Азербайджана и Южного Каспия и направление поисково-разведочных работ. – Баку : Элм, 1985. – 250 с.
2. *Гулиев И. С., Керимов В. Ю., Осипов А. В., Мустаев Р. Н.* Генерация и аккумуляция углеводородов в условиях больших глубин земной коры // SOCAR Proceedings. 2017. No. 1. P. 4–16.
3. *Guliev I., Panahi B.* Geodynamics of the deep sedimentary basin of the Caspian Sea region: paragenetic correlation of seismicity and mud volcanism // Geo-Marine Letters. 2004. Vol. 24. Iss. 3. P. 169–176.
4. *Kadirov F. A., Gadirov A. H.* A gravity model of the deep structure of South Caspian Basin along submeridional profile Alborz–Absheron Sill // Global and Planetary Change. 2014. Vol. 114. P. 66–74.
5. *Bahlburg H., Breitkreuz C.* Grundlagen der Geology. 2 Auflage. – München : Elsevier GmbH, 2004. – 403 p.
6. *Parry R. H. G.* Mohr Circles, Stress Paths and Geotechnics. 2nd ed. – London : Son Press, 2004. – 279 p.
7. *Мартынова Г. С., Алиев А. А., Бабаев Ф. Р., Гулиев И. С.* Наноколлоидные структуры в нефтях грязевых вулканов Азербайджана // Геохимия. 2013. № 9. С. 849–852.
8. *Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Yandarbiev N. Sh., Movsumzade E. M.* Environment for the Formation of Shale Oil and Gas Accumulations in Low-Permeability Sequences of the Maikop Series, Fore-Caucasus // Oriental Journal of Chemistry. 2017. Vol. 33. No. 2. P. 879–892.
9. *Шнюков Е. Ф., Алиев А. А., Рахманов Р. Р.* Грязевой вулканизм Средиземного, Черного и Каспийского морей: специфика развития и проявления // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2017. № 2(48). С. 5–25.
10. *Huseynov D. A.* Maturity of the hydrocarbon fluids and their deep stratigraphic souces in the South-Caspian Basin // Earth Science for Energy and Environment : Proceedings of the 77th EAGE Conference and Exhibition. – Madrid, 2015.
11. *Керимов В. Ю., Мустаев Р. Н., Дмитриевский С. С., Зайцев В. А.* Оценка вторичных фильтрационных параметров низкопроницаемых сланцевых толщ майкопской серии Центрального и Восточного Предкавказья по результатам геомеханического моделирования // Нефтяное хозяйство. 2016. № 9. С. 18–21.
12. *Baloglanov E. E., Abbasov O. R., Akhundov R. V., Huseynov A. R., Abbasov K. A., Nuruyev I. M.* Daily activity of mud volcanoes and geoecological risk: a case from Gaynarja mud volcano, Azerbaijan // European Journal of Natural History. 2017. No. 4. P. 22–27.
13. *Рамазанова Э. Л.* Основные черты структуры дна Каспийского моря // Аллея науки. 2017. № 11(1). С. 381–384.
14. *Лебедев С. А.* Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 72–85.
15. *Серебрякова В. И., Ермолина А. В.* Оптимизация комплекса геолого-геофизических исследований на разных этапах геологоразведочных работ в акватории Каспийского моря и смежных регионах // Геология, география и глобальная энергия. 2016. № 63(4). С. 24–30.
16. *Бабаев Р. Р., Салаев Н. С.* Роль тектонических разрывов в формировании, сохранении и разрушении залежей нефти и газа продуктивной толщи западного борта Южно-Каспийской впадины // Проблемы нефтегазоносности Кавказа : сб. науч. тр. – М. : Недра, 1988. С. 87–92. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 23–29
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.03

Geodynamic mechanisms of structure formation in the Caspian–Black Sea region

Information about authors
V. Yu. Kerimov [1], Pro-Rector for Science, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
R. N. Mustaev [1], Head of Basic and Applied Research Department, Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences, mustaevrn@mgri-rggru.ru
U. S. Serikova [1], Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences
K. I. Dantsova [2], Assistant

[1] Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia
[2] Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

Abstract
The most important features of the structure of the Caspian–Black Sea region is its stress state, as well as high and diverse geodynamic, volcanic, seismic and geo-fluid dynamic activity. The geodynamic activity is associated with various kinds of relaxation of fluid dynamic stresses, primarily intensive upward flows of various mobile fluids and their components and manifestation of thermobaric anomalies. A vivid manifestation of geodynamic activity is its explosive variety—sedimentary volcanism: mud, gas and oil, mixed, etc., which, in turn, determine the intensity of geo-fluid dynamics processes.
The main research methods used in the work are: paleotectonic reconstructions, geomechanical modeling and numerical spatio–temporal basin modeling.
The study of the mechanisms of the movement of plastic clay masses from overstressed synclinal zones to understressed weak pressure zone, namely, into the dome of the folds, shows that such displacements, including vertical movement, are possible mainly under conditions of culminating manifestations of anomalously high pore pressures and the related induced various geological processes having the corresponding gradients.
In the Cenozoic basins of the Caspian–Black Sea region, the geodynamic mechanisms associated with geo-fluid dynamics processes owing to the elastoplastic properties of thick clay strata dominate under such conditions. In a more general case, it seems reasonable to come to an inference that one of the essential factors in the formation of the described types of folding in geosynclinal regions is the effect of anomalous pressures in regional geo-fluid dynamic processes.
The geo-fluid dynamic activity of the Caspian–Black Sea region can be estimated by the frequency of eruption of mud volcanoes. All small-focus earthquakes are located exclusively within the geo-fluid-dynamically active zones. This means that geo-fluid-dynamic processes are one of the main mechanisms of small-focus seismicity. The energy and thickness of the fluid-generating processes in the source will characterize the strength of small-focus earthquakes and mud volcanoes.

Keywords: geo-fluid dynamics, Caspian–Black Sea region, seismic activity, subsoil stress state, geomechanical model, dilatancy.

References

1. Alizade A. A., Salaev S. G., Aliev A. I. Scientific Assessment of Petroleum Potential and Exploration Trends in Azerbaijan and in the South Caspian Basin. Baku : Elm, 1985. 250 p.
2. Guliyev I. S., Kerimov V. Yu., Osipov A. V., Mustaev R. N. Generation and accumulation of hydrocarbons at great depths under the Earth's Crust. *SOCAR Proceedings*. 2017. No. 1. pp. 4–16.
3. Guliev I., Panahi B. Geodynamics of the deep sedimentary basin of the Caspian Sea region: paragenetic correlation of seismicity and mud volcanism. *Geo-Marine Letters*. 2004. Vol. 24, Iss. 3. pp. 169–176.
4. Kadirov F. A., Gadirov A. H. A gravity model of the deep structure of South Caspian Basin along submeridional profile Alborz–Absheron Sill. *Global and Planetary Change*. 2014. Vol. 114. pp. 66–74.
5. Bahlburg H., Breitkreuz C. Grundlagen der Geology. 2 Auflage. München : Elsevier GmbH, 2004. 403 p.
6. Parry R. H. G. Mohr Circles, Stress Paths and Geotechnics. 2nd ed. London : Son Press, 2004. 279 p.

7. Martynova G. S., Aliev A. A., Babaev F. R., Guliev I. S. Nanocolloid structures in crude oils from the mud volcanoes of Azerbaijan. *Geochemistry International*. 2013. Vol. 51, No. 9. pp. 764–766.
8. Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Yandarbiev N. Sh., Movsumzade E. M. Environment for the Formation of Shale Oil and Gas Accumulations in Low-Permeability Sequences of the Maikop Series, Fore-Caucasus. *Oriental Journal of Chemistry*. 2017. Vol. 33, No. 2. pp. 879–892.
9. Shnyukov Ye. F., Aliyev Ad. A., Rahmanov R. R. Mud volcanism of mediterranean, Black and Caspian Seas: specificity of development and manifestations. *Geology and Mineral Resources of World Ocean*. 2017. No. 2(48). pp. 5–25.
10. Huseynov D. A. Maturity of the hydrocarbon fluids and their deep stratigraphic sources in the South-Caspian Basin. *Earth Science for Energy and Environment : Proceedings of the 77th EAGE Conference and Exhibition*. Madrid, 2015.
11. Kerimov V. Yu., Mustaev R. N., Dmitrievsky S. S., Zaitsev V. A. Evaluation of secondary filtration parameters of low-permeability shale strata of the Maikop series of Central and Eastern Ciscaucasia by the results of geomechanics modeling. *Oil Industry*. 2016. No. 9. pp. 18–21.
12. Baloglanov E. E., Abbasov O. R., Akhundov R. V., Huseynov A. R., Abbasov K. A., Nuruyev I. M. Daily activity of mud volcanoes and geoecological risk: a case from Gaynarja mud volcano, Azerbaijan. *European Journal of Natural History*. 2017. No. 4. pp. 22–27.
13. Ramazanova E. L. Key structural characteristics of the Caspian Sea bottom. *Alleya nauki.* 2017. No. 11(1). pp. 381–384.
14. Lebedev S. A. The dynamics of the Caspian Sea based on satellite altimetry data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2015. Vol. 12, No. 4. pp. 72–85.
15. Serebryakova V. I., Yermolina A. V. Optimization of the complex of geological and geophysical researches at different stages of exploration works in the water area of the Caspian Sea and adjacent regions. *Geology, geography and global energy*. 2016. No. 63(4). pp. 24–30.
16. Babaev R. R., Salaev N. S. The role of tectonic fractures in generation, conservation and decomposition of oil and gas in the productive strata of the west wall of the South Caspian Basin. *Caucasian Oil and Gas Potential : Collection of Scientific Papers*. Moscow : Nedra, 1988. pp. 87–92.

УДК 553.06:556.53

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОДЗЕМНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОСКОВСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА

М. М. ЧЕРЕПАНСКИЙ[1], *зав. кафедрой, д-р геол.-минерал. наук, vodamch@mail.ru*
О. А. КАРИМОВА[1], *доцент, канд. геол.-минерал. наук*
А. В. ДЗЮБА[2], *старший научный сотрудник, канд. геогр. наук*
О. Е. ВЯЗКОВА[1], *проф., д-р геол.-минерал. наук*

[1]*Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия*
[2]*Институт водных проблем РАН, Москва, Россия*

Предложены методология и оценка изменения подземной составляющей водных ресурсов в условиях крупномасштабного использования подземных вод и изменяющегося климата, апробированные на западной части Московского артезианского бассейна.

Ключевые слова: *Московский артезианский бассейн, подземные воды, ресурсы, отбор подземных вод, изменения климата.*
DOI: *10.17580/gzh.2018.11.04*

Введение

Водные ресурсы артезианских бассейнов формируются под влиянием большого числа природных и антропогенных факторов. Для долгосрочного планирования обеспеченности водными ресурсами необходим прогноз их возможного изменения в процессе интенсивной эксплуатации и вариаций климата.

Региональные исследования формирования ресурсов подземных вод западной части Московского артезианского бассейна выполняли в 1960–1990-х годах российские и белорусские гидрогеологи; их результаты опубликованы в ряде монографий и научных статей. Это работы А. П. Лаврова, П. А. Киселева, И. С. Зекцера, И. Л. Дзилна, М. М. Черепанского и других авторов, которые определили научные и методические основы региональных исследований речных и артезианских бассейнов и в целом отражают изученность подземных вод на уровне того времени.

Анализ методологических подходов, используемых при определении восполнения речного стока за счет подземных вод, показал, что они имеют ряд преимуществ и недостатков, а область их применения зависит от участка проведения исследований. На участках, выделяемых как область питания, главными методологическими подходами, применяемыми для вычисления, являются расчеты инфильтрационного питания, определение среднемноголетнего и меженного баланса. На участках транзитного стока используется гидродинамический метод, а в областях разгрузки – гидрометрический, балансовый, гидрохимический и гидродинамический методы [1].

В последние десятилетия важное значение приобретают проблемы, обусловленные климатическими изменениями. В качестве климатических переменных наиболее часто рассматривают температуру приземного воздуха, атмосферные осадки, атмосферное давление, а также направление и скорость ветра. Изменения климата неизбежны. Являются ли современные климатические изменения значимыми для тех или иных компонент природной среды и, в частности, для подземных вод? Этот вопрос становится все более актуальным в связи с необходимостью разработки стратегии устойчивого развития регионов. Кроме природных, степень взаимосвязи различных составляющих водных ресурсов все больше определяется антропогенными факторами. Так, например, изъятие поверхностных и подземных вод для водоснабжения, водоотлив при строительстве и добыче полезных ископаемых карьерным и шахтным способами [2–4]. Все это вызывает необходимость в усовершенствовании методов прогнозов изменения водных ресурсов с учетом изъятия подземных вод и изменения климата [5–9].

Методология оценки изменения подземного стока

Предлагается упрощенный, но комплексный методологический подход, который условно можно разделить на два блока: