

УДК 550.394: 551.26: 551.46

**ПРОЯВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ
В СТРУКТУРЕ ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОСАДКОВ СРЕДНЕГО КАСПИЯ****¹Путанс В.А., ¹Мерклин Л.Р., ²Зеленин Е.А.**¹*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: vitapu@mail.ru;*²*Геологический институт РАН, Москва, e-mail: egorzelenin@mail.ru*

Средний Каспий характеризуется сравнительно высоким уровнем сейсмичности, поскольку его западная граница проходит по сейсмоактивной области и представляет собой контрастное сочетание горных сооружений восточной окраины Дагестанского клина с Дербентским прогибом. Интенсивное прогибание здесь началось в конце плиоцена и продолжается до сих пор, не компенсируясь осадконакоплением. В исследовании использованы каталоги, в которых представлены сейсмические события за последние 150 лет. Максимальная зафиксированная магнитуда этих землетрясений составляет 6,4. Наше исследование сопоставляет эти события и высокоразрешающие сейсмоакустические профили. Вблизи очагов землетрясений в структуре современных осадков и рельефе морского дна наблюдаются десятки нарушений: разломы и серии разломов амплитудой до 20 метров, вертикальные зоны потери корреляции («газовые трубы»), горизонтальные зоны потери корреляции. Географически можно выделить три зоны нарушений: западный склон Дербентской котловины, южный склон (Апшеронский порог), и глубоководная часть ближе к востоку. Также выделяются несколько событий вне групп. В пределах западного склона преобладают серии разломов. В котловине слоистость не нарушена, но наблюдаются вертикальные зоны потери корреляции («газовые трубы»), у подножия Апшеронского порога – сочетание вертикальных и горизонтальных зон потери корреляции. Учитывая расположение известных нефтегазовых структур, авторы предполагают, что на сейсмических разрезах наблюдается не только локальный отклик на напряженное состояние горных пород, но и флюидодинамическая активность (дегазация) нефтегазоносных горизонтов, потревоженных землетрясениями, в том числе малой магнитуды (около 4).

Ключевые слова: Каспийское море, землетрясения, осадочная толща, тонкая структура осадков, дегазация, разломы

**SIGNS OF MODERN TECTONIC EVENTS IN LATE-QUATERNARY
SEDIMENTS OF MIDDLE CASPIAN****¹Putans V.A., ¹Merklin L.R., ²Zelenin E.A.**¹*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: vitapu@mail.ru;*²*Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: egorzelenin@mail.ru*

Middle Caspian is characterized by rather high seismic activity, because its western border relates to seismoactive area and is presented by contrasting combination of Dagestan mountain clinoform's eastern border neighbored with Derbent trough. Intensive troughing here have been started here in the end of Pliocene and stay uncompensated by sediments. Modern tectonic events (earthquakes) have been recorded and catalogued during last 150 years and have maximum known magnitude of 6,4. Our study collates this events and high-resolution seismoacoustic profiles. Nearby focuses of earthquakes there are tens of disruptions in sediment structure and in seafloor relief. Disruption types are: faults and fault groups (amplitude up to 20 meters), vertical zones of uncorrelation («gas pipes»), horizontal zones of uncorrelation. Disruptions could be grouped by three areas: western slope of Derbent basin, its southern slope, and its deep part on the east. As well there are several events outside the groups. On western slope most disruptions are presented by faults. In deep basin sediment layers in general are not disturbed but there are plenty of vertical zones («gas pipes»); on Apsheron threshold step there is combination of vertical and horizontal «uncorrelated» zones. Taking in account position of known hydrocarbon structures, authors assume that seismoacoustic sections represent disruptions which are coupled not only with local response of sediments to tectonic events (earthquakes), but with fluid dynamics – degasation of hydrocarbon horizons, disturbed by earthquakes, including ones with low magnitude (near 4).

Keywords: Caspian sea, earthquakes, sediments, fine sediment structure, degasation, faults

Современные тектонические подвижки приводят к деформациям как осадочной толщи в целом, так и приповерхностных слоёв. Многократно повторяющиеся землетрясения небольшой магнитуды могут активизировать оползневые процессы, а также сход мутьевых потоков и различные формы оползания. Вопрос о гравитационной неустойчивости четвертичных, прежде всего голоценовых отложений континентальных склонов Центрального Каспия имеет большой приклад-

ной аспект в условиях активной разведки и разработки нефтегазовых месторождений. Учитывая высокую скорость и непредсказуемость изменений уровня Каспийского моря, крайне важно подробно и всесторонне изучать все известные зоны нестабильности и потенциальной нестабильности [1].

Геологическая обстановка

В структурном плане Каспий – субмеридионально ориентированная депрессия

позднечетвертичного возраста, которая пересекает разнородные структурные элементы. Распределение сейсмогенных зон хорошо коррелируется с современными полями напряжений в Кавказском регионе и наиболее вероятными направлениями смещения литосферных масс, преимущественно на северо-восток. Геоморфологически разделяют Северный, Средний, и Южный Каспий. Средний Каспий характеризуется сравнительно высоким уровнем сейсмичности [2], поскольку его западная граница проходит по сейсмоактивной области Северо-Восточного Кавказа, а южная обрамляется структурами Апшеронского порога. Сейсмический эффект на западном континентальном склоне Среднего Каспия может достигать 6–7 баллов.

В работе Иванова, Трифонов [3] проведено сеймотектоническое районирование Каспия по очаговым зонам землетрясений, приуроченных к границам новейших структур с высокими градиентами параметров глубинного строения. Согласно этой классификации, использованные нами очаги с магнитудой больше 3,5 [4, 5] расположены в сеймотектонической провинции I. Провинция представляет собой контрастное сочетание горных сооружений восточной окраины Дагестанского клина с Дербентским прогибом западной части Среднего Каспия. Интенсивное прогибание началось здесь в конце плиоцена и продолжается до сих пор, не компенсируясь осадконакоплением.

Цели и методы исследования

Деформации как осадочной толщи в целом, так и приповерхностных слоёв, вызванные многократными землетрясениями небольшой магнитуды, могут активизировать оползневые процессы, а также сход мутьевых потоков и различные формы оползания. В данной статье приводятся результаты исследования, которые позволят расширить представление о зонах нестабильности и потенциальной нестабильности верхней части осадочной толщи на Среднем Каспии [6]. Исследованы конкретные сейсмоакустические аномалии, связанные с современными землетрясениями небольшой магнитуды.

Помимо официальных каталогов землетрясений, включая электронные ресурсы, в работе использовались сейсмоакустические профили высокого разрешения (электроискровой источник Спаркер, несущая частота 250 Гц, разрешение до 3 м) и сверхвысокого разрешения (параметрический профилограф SES, частоты 2–7 кГц, разрешение до 0,3 м),

полученные Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2004–2013 гг. (рис. 1). Сейсмоакустика – направление малоуглубинной сейсмологии, в котором используются акустические волны на более высоких частотах (килогерцы), чем в «большой сейсмологии» (десятки – сотни герц) [7]. Сейсмоакустический временной разрез даёт информацию только о самой верхней части осадочной толщи (не глубже 150 м под уровнем дна), и при этом вертикальное разрешение увеличивается до первых метров – десятков сантиметров. По данным такого профилирования, в Среднем Каспии выявляются небольшие разломы на разных уровнях разреза и связанные с ними аномалии волнового поля в виде «газовых труб» с пометками и ослабленных зон в слоях возрастом от 30 тыс. лет до 7 тыс. лет [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Поблизости от очагов землетрясений, в верхней части осадочного чехла на сейсмических записях выделяется несколько десятков объектов различной степени выраженности. Объекты можно разделить на два типа: разломы и серии разломов амплитудой от 10 до 20 метров, и зоны потери корреляции, как вертикальные, так и горизонтальные. Выделено более двадцати самых крупных деформаций, которые проявляются не только в осадочной толще, но и на современном морском дне. Шесть из этих деформаций обособлены, как и связанные с ними очаги землетрясений, остальные легко группируются по географическо-морфологическим признакам. Всего выделено три большие группы: на западном склоне Дербентской котловины, в котловине, и в районе Апшеронского порога (рис. 1). В некоторых случаях на нескольких соседних профилях отражается одна и та же структура (нарушение). Как правило, такая ситуация наблюдается поблизости от нескольких очагов.

Обособленные деформации

Все обособленные деформации имеют глубину очага до 5 км (рис. 1). Самая впечатляющая из обособленных деформаций расположена на юго-западе Мангышлакского порога и представляет собой разлом, «живущий» длительное время (рис. 2) и развивавшийся в несколько этапов. Кроме основного разлома, на записи видны серии мелких субвертикальных нарушений, а также выделяется горизонтальная зона потери корреляции. К северо-востоку от разлома на

продолжении линии профиля (сам профиль туда не доходит) имеется два очага магнитудой 4–4,5.

Дербентский склон

Деформации коррелируют с большим количеством очагов землетрясений магнитудой от 3,5 до 5 баллов. На сейсмических разрезах наблюдаются главным образом дизъюнктивные нарушения различной степени выраженности и амплитуды, а также вертикальные и зоны потери корреляции (рис. 3). Многообразие объектов связано, скорее всего, с расчлененным рельефом Дербентского склона, а также с непосред-

ственной близостью сейсмически активных структур Большого Кавказа. Распределение объектов по площади неоднородно.

Если на северо-западе преобладают очаги на средней глубине 20 км, в диапазоне магнитуд 3,5–4 и слабо выраженные разрывные нарушения, то к юго-западу балльность увеличивается до 4,5–5, с единичным очагом 6,1. На сейсмических профилях появляются вертикальные зоны потери корреляции, а разломы увеличиваются в размерах и приобретают вид грабенов (рис. 3). Глубина очагов здесь колеблется от 50 до 75 км. В связи с этим возможно разбиение на подгруппы.

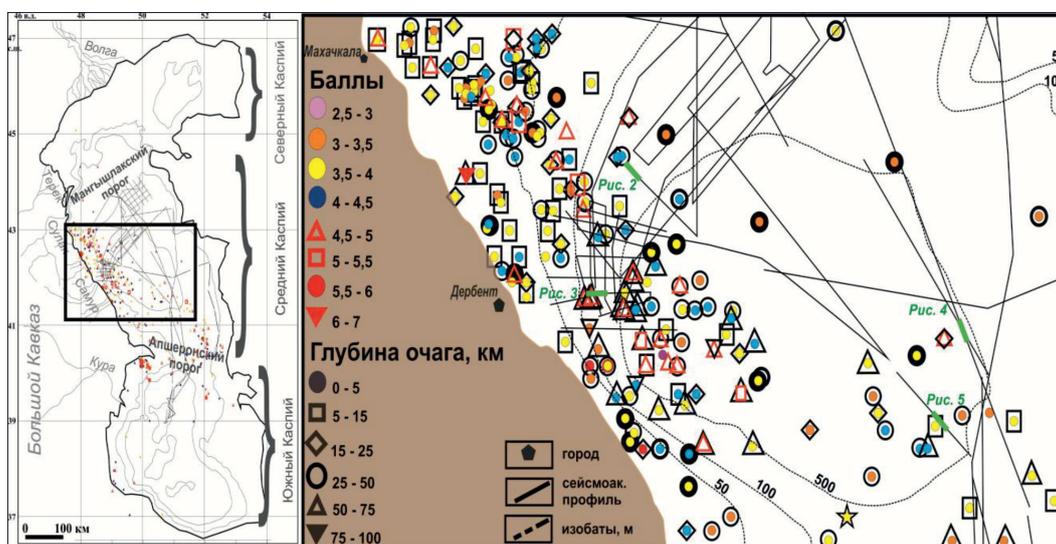


Рис. 1. Очаги и профили

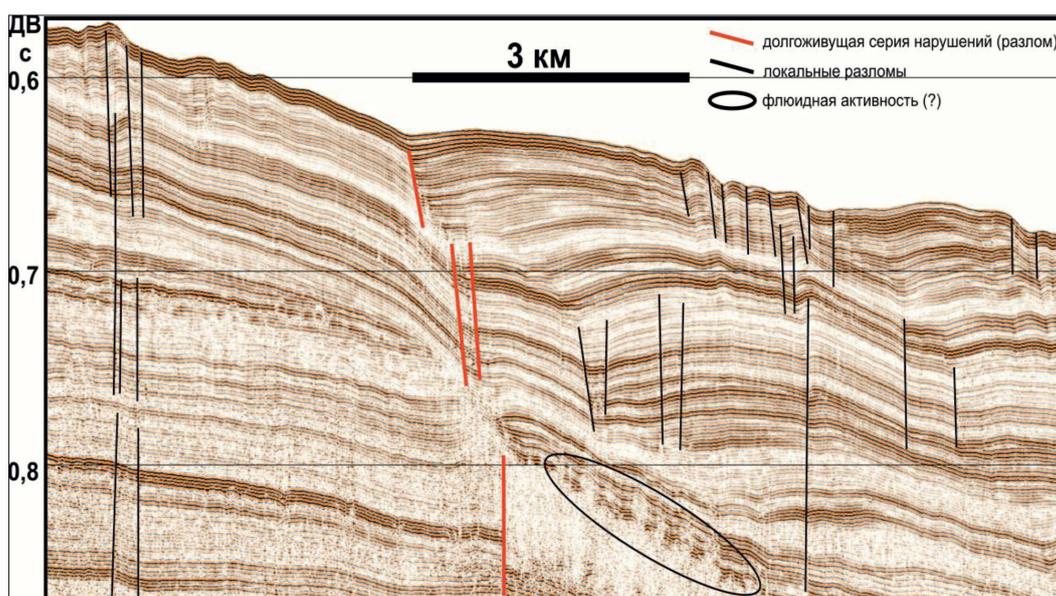


Рис. 2. Обособленное нарушение, Мангышлакский порог

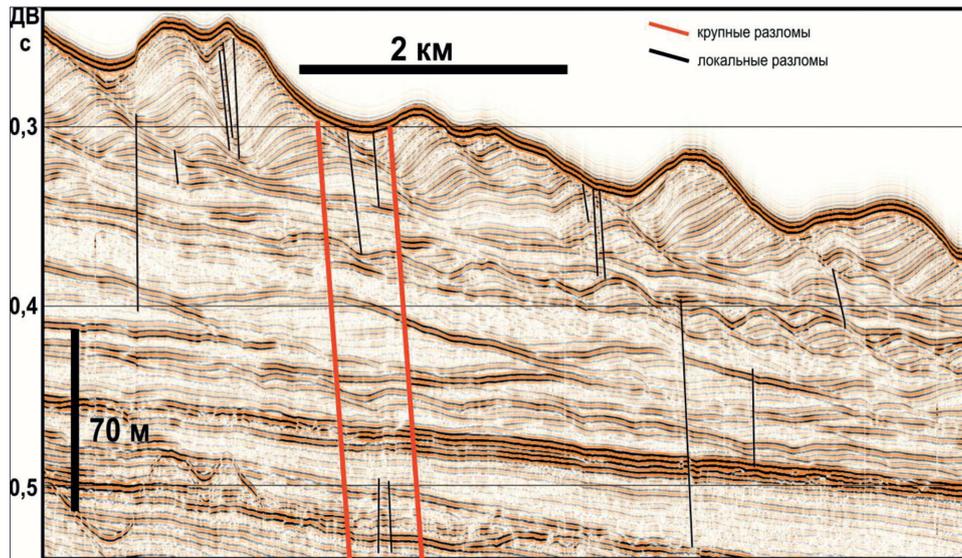


Рис. 3. Дербентский склон

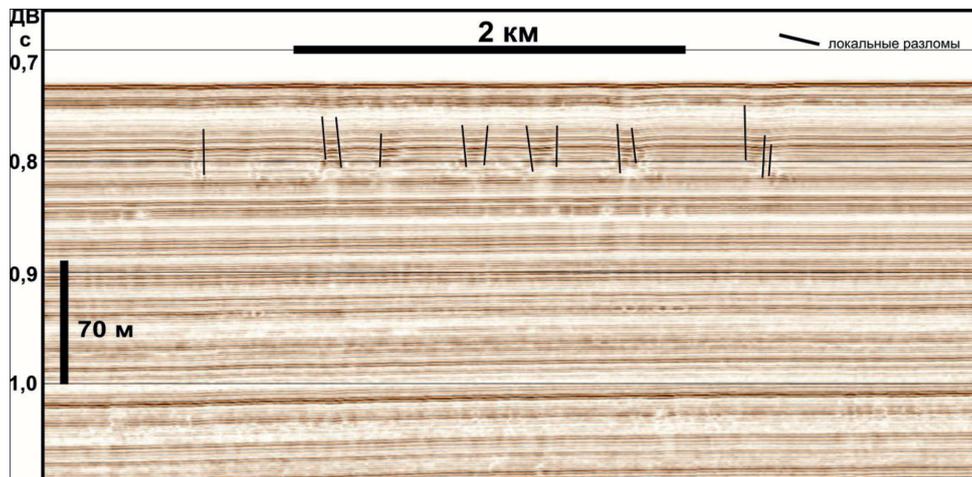


Рис. 4. Глубоководная котловина

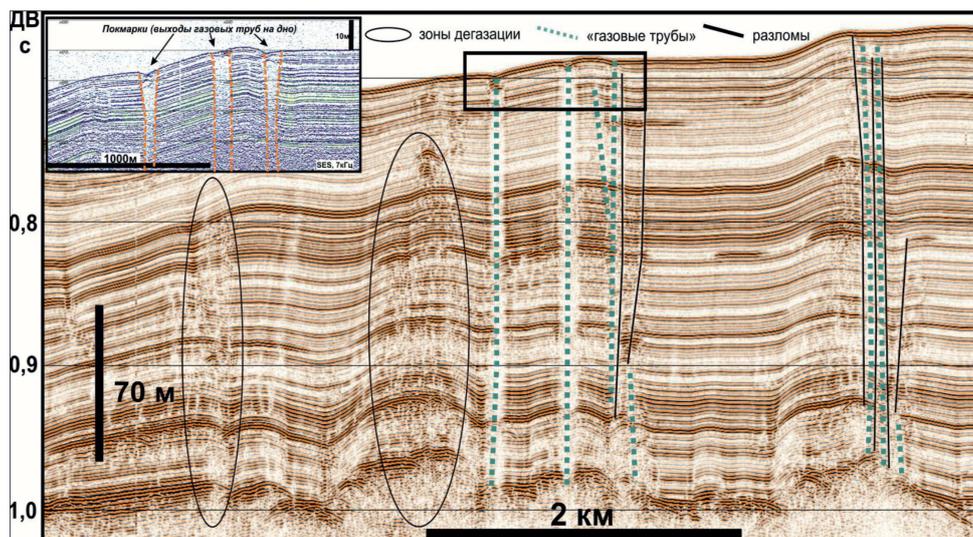


Рис. 5. У подножия Апишеронского порога

Глубоководная котловина

Очагов мало, наблюдаются главным образом ближе к южной части, имеют среднюю магнитуду 4 балла и единичный очаг 5,3. Глубина большинства очагов до 5 км, местами до 50 км. На сейсмических записях видны многочисленные вертикальные зоны ослабления сигнала, местами – серии слабых вертикальных нарушений. Осадочная толща параллельно-слоистая, с выдержанными границами (рис. 4).

Подножие Апшеронского порога

Очагов мало, большинство в диапазоне 50–75 км. Наблюдаются главным образом ближе к южной части, имеют магнитуды около 4. На сейсмических записях видны многочисленные вертикальные зоны ослабления сигнала («газовые трубы»), серия вертикальных нарушений, акустически неоднородный слой, ниже которого залегает сеймопачка хаотических отражений. Слоистая осадочная толща испытывала серию постседиментационных деформаций (рис. 5).

Выводы

Обладая большим углеводородным потенциалом, недра Каспия неизбежно должны дегазироваться. Возникновение новых трещин и активизация существующих каналов при сильных землетрясениях способны за несколько месяцев разгрузить флюидные очаги. Геотектоническая провинция, в рамках которой проведено исследование, характеризуется преобладающим выделением сейсмической энергии в фазы понижения уровня, однако интенсивность сейсмогенного трещинообразования зависит не столько от энергии, сколько от глубины сейсмических очагов и механизмов землетрясений [3]. Поэтому даже события с магнитудами до 6 достаточны, чтобы вызывать подобные гидроизвержения, а эпохи усиления сейсмичности – обеспечивать поступление на поверхность воды, отжатой при температурах 100–140 и высоких давлениях [9]. Освободившаяся вода создает аномально высокие пластовые давления, которые могут сниматься удалением воды по пластам-коллекторам или разломам [10]. Вертикальные зоны потери корреляции соответствуют «классическим» акустическим аномалиям типа «газовая труба». Учитывая их прямую корреляцию с а) очагами б) в зонах с доказанной нефтегазоносностью, можно утверждать, что в глубоководной части Дербентской котловины и у подножия

Апшеронского порога обнаружена высокая флюидодинамическая активность.

Наблюдаемые серии разрывных нарушений на Дербентском склоне приурочены к оси растяжения Дербентского прогиба, которая с 1978 г. приобрела более разнообразную ориентировку [2]. Однако следует помнить, что землетрясения и количество выделяемой ими сейсмической энергии лишь частично отражают деформационный эффект современных тектонических процессов [8]. В случае Среднего Каспия слабые (в среднем около 4 баллов) и неглубокие (в среднем 20 км, местами до 75 км) землетрясения приводят к нарушениям в самой верхней части осадочной толщи. В большинстве случаев к этим нарушениям приурочены признаки флюидной активности, а именно – зоны потери корреляции, которые следуют по разломам либо по «акустически ослабленным» ослабленным зонам, которые на сейсмоакустических разрезах выглядят как «трещиноватые». Вероятнее всего, механизм землетрясений имеет двоякую природу: глубинная разгрузка недр в виде потоков флюидов порождает ослабленные зоны, которые в свою очередь создают серии локальных напряжений по всему геологическому разрезу. В случае латеральной миграции флюидов зоны потери корреляции могут наблюдаться в сотнях километров от зон собственно сейсмической активности.

Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 17-55-560003 и Государственного задания в рамках НИР № 0149-2018-0005.

Список литературы

1. Вержбицкий В.Е., Лобковский Л.И., Росляков А.Г., Мерклин Л.Р., Полков А.С., Левченко О.В. Оползневые структуры в четвертичных отложениях северности Каспийского моря (Каспийское море) // *Океанология*. – 2009. – Т. 49, № 3. – С. 430–439.
2. Ковачев С.А., Казьмин В.Г., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Новые данные о мантийной сейсмичности Каспийского региона и их геологическая интерпретация // *Геотектоника*. – 2009. – № 3. – С. 30–44.
3. Иванова Т.П., Трифионов В.Г. Сейсмоструктура и современные условия колебания уровня Каспийского моря // *Геотектоника*. – 2002. – № 2. – С. 27–42.
4. Общий каталог сейсмических событий, Дагестанский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» [Электронный ресурс]. – URL: <http://dbgsras.ru/site/earthquake?nofilter> (дата обращения: 17.03.2018).
5. Уломов В.И., Медведева Н.С. Специализированный каталог землетрясений Северной Евразии. ИФЗ РАН, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf> (дата обращения: 17.03.2018).
6. Мерклин Л.Р., Левченко О.В., Путанс В.А. Осадочные волны, гравитационные оползни и подводные каньоны на

дне Каспийского моря и их потенциальное воздействие на транскаспийские трубопроводы // Трубопроводы России (теория и практика). – 2009. – № 2. – С. 9–12.

7. Пуганс В.А. Сейсмоакустические аномалии в осадочном чехле западных морей России / В.А. Пуганс [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10597> (дата обращения: 25.03.2018).

8. Леонов Ю.Г., Антипов М.П., Волож Ю.А. Геологические аспекты проблемы колебаний уровня Каспийского моря // Глобальные изменения природной среды. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. – С. 30–57.

9. Шило Н.А. Природа колебаний уровня Каспия // Докл. АН. – 1989. – Т. 305, № 2. – С. 412–416.

10. Куликов Е.А., Кузин И.П., Яковенко О.И. Цунами центральной части Каспийского моря // Океанология. – 2014. – Т. 54, № 4. – С. 473–477.

References

1. Lobkovskii L.I., Verzhbitskii V.E., Merklin L.R., Rosliakov A.G., Poliakov A.S., Levchenko O.V. Slump structures in quaternary slope sediments of the northern Derbent Basin (Caspian Sea) [Opolznevye struktury v chetvertichnykh otlozheniiakh severnogo sklona Derbentskoi kotloviny (Kaspiiskoe more)]. Dokl. AN, seriia Okeanologiya – Oceanology, 2009, no. 3, pp. 430–439.

2. Kovachev S.A., Kaz'min V.G., Kuzin I.P., Lobkovskii L.I. New data on mantic seismicity of Caspian region and its geological interpretation [Novye dannye o mantiinoi seismichnosti Kaspiiskogo regiona i ikh geologicheskaiia interpretatsiia]. Geotektonika – Geotectonics, 2009, no. 3, pp. 30–44.

3. Ivanova T.P., Trifonov V.G. Seismotectonics and modern variations in Caspian sea level change [Seismotektonika i sovremennye usloviia kolebaniia urovnia Kaspiiskogo moria]. Geotektonika – Geotectonics, 2002, no. 2, pp. 27–42.

4. Edinaia geofizicheskaiia sluzhba Rossiiskoi akademii nauk Obshchii katalog seismicheskikh sobytii, Dagestanskii fil-

ial Federal'nogo Gosudarstvennogo biudzhethnogo uchrezhdeniia nauki Federal'nogo issledovatel'skogo tsentra Edinaia geofizicheskaiia sluzhba Rossiiskoi akademii nauk [Main Seismic events Catalogue, Dagestan branch of Federal investigation centre in Integral geophysics service, RAS]. Available at: <http://dbgsras.ru/site/earthquake?nofilter> (accessed 17.03.2018).

5. Ulomov V.I., Medvedeva N.S. Special catalogue of earthquakes in North Eurasia [Spetsializirovannyi katalog zemletriasenii Severnoi Evrazii]. IFZ RAN – Special catalogue of earthquakes in North Eurasia, 2014, no. 1. available at: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Eartquake-Catalog-CK3.pdf> (accessed 17.03.2018).

6. Merklin L.R., Levchenko O.V., Putans V.A. Sediment waves, underwater slides and channels on Caspian seafloor and their potential impact on transcaspiian pipelines [Osadochnye volny, gravitatsionnye opolzni i podvodnye kan'ony na dne Kaspiiskogo moria i ikh potentsial'noe vozdeistvie na transkaspiiskie truboprovody]. Truboprovodnyi transport: teoriia i praktika – Oil and gas pipelines: theory and practice, 2009, no. 2, pp. 9–12.

7. Putans V.A., Levchenko O.V., Merklin L.R., Pleshkov A.Iu. Seismoscoustical anomalies within sediment cover of the western Russian seas [Seismoakusticheskie anomalii v osadochnom chekhle zapadnykh morei Rossii]. Sovremennye problemy nauki i oborazovaniia – Modern problems of science and education, 2013, no. 5.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10597> (accessed 25.03.2018).

8. Leonov Iu.G., Antipov M.P., Volozh Iu.A. Geologicheskiiye problemy kolebaniia urovnia Kaspiiskogo moria [Geological aspects of Caspian sea level change]. Global'nye izmeneniia prirodnoi sredy [Global environmental changes]. Novosibirsk, Izd.SO RAN, 1998, pp. 36–57.

9. Shilo N.A. Nature of Caspian sea level changes [Priroda kolebaniia urovnia Kaspiia]. Dokl.AN – Doklady, 1989, vol. 2, no. 305, pp. 412–416.

10. Kulikov E.A., Kuzin I.P., Iakovenko O.I. Tsunami in Central Caspian [Tsunami tsentral'noi chasti Kaspiiskogo moria]. Okeanologiya – Oceanology, 2014, no. 4, pp. 437–477.