

Д.С. МАКСЕЕВ, С.А. ФЕДОРОВ, К.И. АКСЕНТОВ, Р.Б. ШАКИРОВ

Новые геохимические данные по осадкам Южно-Татарского осадочного бассейна (по результатам 54-го рейса НИС «Академик Опарин»)

Геохимические исследования осадков помогают выделять площади распределения глубинного флюида, размещения рудных тел и россыпей полезных компонентов и много других аспектов. Татарский пролив представляет собой природную лабораторию, в которой можно изучать различные стороны седиментогенеза. В статье приведены результаты исследований геохимических особенностей поверхностного слоя донных осадков Южно-Татарского осадочного бассейна, полученных в ходе экспедиции в 54-м рейсе НИС «Академик Опарин». В них отмечены повышенные содержания кремнезема (75 масс.%), оксида магния (5,1 масс.%). Высокие концентрации ванадия (до 300 г/т) и серы (до 0,7 масс.%) приурочены к Тернейскому прогибу (эпипатальная зона). Подобные содержания серы можно объяснить активной минерализацией сульфидов и/или наличием углеводородов. Цветные, в том числе тяжелые, металлы (Pb) также концентрируются в Тернейском прогибе.

Полученные результаты могут быть использованы при анализе условий образования современных осадочных толщ Южно-Татарского бассейна, для прогнозирования россыпных шельфовых и осадочных месторождений.

Ключевые слова: донные осадки, химический состав, коэффициент концентрации, Татарский пролив, Японское море.

New geochemistry data on sediments of the South Tatar sediment basin (basing on the 54th cruise of RV "Akademik Oparin"). D.S. MAKSEEV^{1,2}, S.A. FEDOROV³, K.I. AKSENTOV¹, R.B. SHAKIROV¹ (¹V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok; ²Far Eastern Federal University, Vladivostok; ³Institute of Metallurgy, UrB RAS, Yekaterinburg).

Geochemical studies of sediments help to allocate the area of the deep fluid distribution, the placement of ore bodies and placers of useful components and many other aspects. The Tatar Strait is a natural laboratory, where we can study different aspects of sedimentogenesis. The article studies the geochemical features of bottom sediments in the South-Tatar sediment basin obtained during 54th Cruise of RV "Akademik Oparin". They have increased contents of silica (75 wt.%), magnesium oxide (5.1 wt.%). High concentrations of vanadium (up to 300 g/t) and sulfur (up to 0.7 wt.%) are located in the Terneysky depression (epibathyal zone). Such sulfur contents may be associated with active sulfide mineralization and/or the presence of hydrocarbons. Non-ferrous metals, including heavy metals (Pb), are also concentrated in the Terneysky depression.

The obtained results can be used to analyze the conditions of modern sediment strata of the South Tatar basin, as well as to forecast alluvial shelf and sediment deposits.

Key words: bottom sediments, chemical composition, concentration coefficient, the Tatar Strait, the Japan Sea.

*МАКСЕЕВ Даниил Сергеевич – инженер (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток), магистрант (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток), ФЕДОРОВ Сергей Андреевич – младший научный сотрудник, аспирант (Институт металлургии УрО РАН, Екатеринбург), АКСЕНТОВ Кирилл Игоревич – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ШАКИРОВ Ренат Белалович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: maxdan@bk.ru

Исследование поддержано грантами РФФИ 18-05-00153 и Комплексной программы ДВО РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы 18-1-008.

Введение

В настоящее время расширяются районы добычи и разведки углеводородов на морских акваториях. Вследствие этого возрастают объемы оценочно-поисковых работ. Поверхностные осадки являются главными объектами изучения при использовании геохимических методов. Геохимические исследования осадков помогают локализовать проявления глубинного флюида, зоны размещения рудных тел и россыпей полезных компонентов и др. Таким образом, геохимическая съемка донных отложений – важное направление современных исследований в окраинных морях, позволяющее объяснить ряд природных литохимических и седиментологических явлений и процессов [9].

Татарский пролив – природная лаборатория, в которой можно изучать различные стороны седиментогенеза. Являясь северным продолжением Японского моря, пролив расположен между разными по степени зрелости элементами суши. Изучение влияния островной и материковой суши на формирование современных осадков представляется крайне важным для выяснения особенностей осадконакопления и решения вопросов минерации в конкретной акватории [10].

В статье проведены исследование геохимических особенностей донных осадков южной части Татарского пролива и сравнение результатов с уже известными литературными данными по этому району [1–3, 6, 10].

Объекты и методы исследования

Исследуемый материал – 61 проба поверхностных (0–5 см) донных осадков, отобранных в Южно-Татарском осадочном бассейне в ходе комплексной геолого-геофизической экспедиции ТОИ ДВО РАН в 54-м рейсе НИС «Академик Опарин». Исследовалась преимущественно центральная часть бассейна (в структурном плане были охвачены площади Тернейского прогиба, Западно-Лопатинского и Пионерского поднятий, Приморской

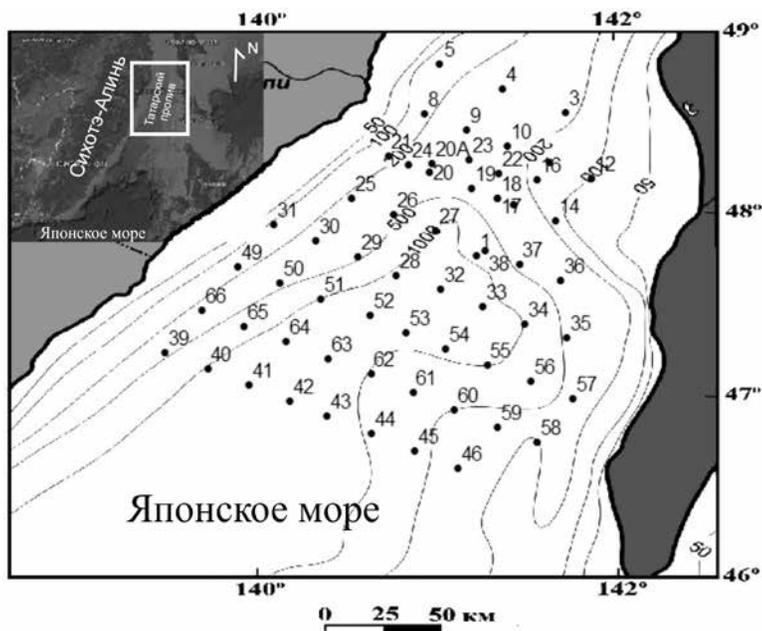


Рис. 1. Расположение сети пробоотбора (точка и номер станции) в южной части Татарского пролива (изолиниями показаны изобаты), Японское море. На врезке белым прямоугольником показано положение района работ

моноклинали). Масштаб съемки 1 : 2 500 000, пробы отбиралась примерно через 25 км. Профили, по которым происходила съемка, располагались на расстоянии 30 км друг от друга в юго-восточном направлении (азимут 110°, рис. 1). Методика пробоотбора приведена в [7].

Станции литологического опробования находились в шельфовой зоне (сублитораль и эпibatиаль, соответственно 9 и 44 % от суммарного количества точек) и на континентальном склоне (батиаль, 42 %).

Каждая проба осадков была подвержена рентгенофлуоресцентному анализу на XRF-анализаторе DELTA, предел обнаружения элементов в режиме количественного анализа – на уровне 5 ppm (миллионных долей). Данные получены для всех петрогенных элементов, цветных и щелочных металлов. Построение схем и карт на основе этих данных осуществлялось при помощи среды ArcMap в пакете программ ArcGis 10.6.1. Описание структурной привязки полученных результатов осуществлялась по [3].

Результаты и обсуждение

Гранулометрический состав

Пробы отобраны из трех морских зон дна Татарского пролива: сублиторали (до 200 м), эпibatиали (200–500 м) и батиаля (от 500 м до максимальной глубины опробования 1300 м). Длина кернов осадка в среднем не превышала 250 см, в связи с чем большинство проб представлены терригенным материалом преимущественно псаммитовой (пески) и пелитовой (илы) фракций, реже встречается псефитовая (галька).

Пелитовый материал расположен в центральной глубоководной части залива (батиаль и эпibatиаль, Тернейский прогиб) и представлен алевролит-пелитовым илом с примесью органических остатков (морские звезды, черви). Крупность зерен не превышает 10 мкм, за исключением органики. У отдельных проб осадков, отобранных в северной части Тернейского прогиба, наблюдается запах сероводорода (они имеют оливково-серый цвет). Количество силикатов в указанных зонах меньше на несколько процентов (до 11 масс.%) по сравнению с шельфовой зоной. Однако здесь возрастает количество оксидов, гидроксидов и сульфидов (последних до 2 масс.%), что свойственно упомянутым структурам [1, 3, 6]. Содержание акцессорных минералов (титанит, циркон, ильменит и т.д.) падает примерно с 0,6 до 0,4 масс.% с севера на юг с увеличением глубины бассейна.

Псаммитовый и псефитовый материал, представленный полимиктовыми мелкозернистыми песками и галькой с баянусами, сосредоточен в прибрежной и приостровной зонах (сублитораль и часть эпibatиали): на Приморской моноклинали, Западно-Лопатинском и Пионерском поднятиях. Здесь значительно выше содержания силикатов и акцессорных минералов в связи с ближайшим выносом последних из русел рек, впадающих в пролив. Стоит отметить небольшую разницу в осадочных отложениях приматериковой и приостровной зон: в первой на 0,1–0,2 масс.% больше акцессорных минералов. Связано это с большей протяженностью рек на материке и наличием вблизи берега множества крупных интрузивных массивов (магматические комплексы Сихотэ-Алинской складчатой системы).

Макроэлементный состав

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа проб донных осадков, анализа с кларковыми значениями выявлена отчетливая асимметрия в накоплении ряда элементов в Южно-Татарском осадочном бассейне. На приматериковом шельфе, в прибрежной его части, степень основности осадков выше, чем на приостровном шельфе. На это указывают содержания таких элементов, как Si, Al, Ti, Mg, K и др. По ним возможно установить основность донных осадков, если провести сравнения с кларками в главных

типах пород [4, 5]. Для анализа были взяты следующие пять компонентов (по отношению содержания в земной коре):

1) кремнезем (SiO_2). Максимальное его накопление – почти до 75 масс.% – наблюдается в прибрежных зонах приостровного (Сахалин) и приматерикового шельфов, в частности в северной части бассейна (сублитораль). Минимальные содержания – 68–70 масс.% – в центральной и южной, глубоководной, частях бассейна (Тернейский прогиб, зона батиаля). На приостровном шельфе содержание SiO_2 примерно на 1–2 масс.% выше, чем на приматериковом. Это отчетливо видно в северной части бассейна, где разница содержания окиси кремния достигает 6 масс.%. Такие содержания кремнезема свойственны бассейну Татарского залива [10], однако содержание выше среднего [2]: кларк концентрации (отношение содержания концентрации элемента в исследуемых осадках к среднему содержанию элемента в земной коре, далее КК) везде выше единицы в связи с большим количеством песчаного материала и его химически инертным состоянием (рис. 2);

2) глинозем (Al_2O_3). Самые высокие его содержания (до 12 масс.%) – в северной эпibatальной зоне бассейна, а также на континентальном шельфе. Такие высокие значения обусловлены смывом глиноземистого материала с щелочных магматических комплексов Сихотэ-Алинской складчатой системы. Самые низкие содержания – в батимальной зоне (около 8 масс.%), что согласуется с [2], и на приостровном шельфе – 7,1 масс.%, что противоречит [2], так как там основная концентрация Al отмечается в шельфовых зонах. КК менее 1: содержание Al почти в 1,5 раза меньше, чем в земной коре, это характерно для бассейна Татарского залива [2]. Внешне картина визуально близка к конусу выноса с северной приматериковой области (рис. 2);

3) окись магния (MgO). Самые высокие содержания, до 5,1 масс.%, отмечены в батимальной зоне бассейна, что связано с перераспределением компонентов в водном бассейне (количество от сублиторальной зоны к батимальной меняется с 2,7 до 5 масс.%) и, предположительно, с образованием аутигенных минералов (группа брусита, доломит, магнезит). На приматериковом шельфе содержания окиси магния выше – 2,7–5 против 2,6–4,7 масс.% на приостровном шельфе, разница достигает 0,4 масс.%;

4) оксид титана (TiO_2). Наблюдается аналогичное с предыдущими случаями различие содержаний в прибрежных шельфовых зонах: в приматериковой – 0,47–0,64 (преобладающее значение около 0,6) масс.%, в приостровной – 0,36–0,61 (0,57) масс.%. В северной, эпibatальной зоне бассейна отмечены повышенные содержания оксида титана по сравнению с прибрежными зонами: 0,63–0,64 против 0,47–0,59 масс.%. Данный компонент в прибрежных зонах, в связи с повышенной концентрацией (выше 0,5 масс.%), образует прибрежные титаномагнетитовые или титанитовые россыпи (предположительно, эти минералы: отмечены высокие содержания железа и кальция) [8].

5) оксид калия (K_2O). Один из немногих компонентов, который выбивается из общей картины: здесь содержания выше на приматериковом шельфе, нежели на приостровном: 3,2 против 3,0 масс.%. Это может быть связано с аутигенной минерализацией (образование калийных солей и глинистых (каолинита) минералов) либо с наличием щелочных массивов (сиенитов) недалеко от суши. В северной эпibatальной зоне бассейна содержания K_2O также высоки – 3,0–4,1 масс.%, причем здесь они выше на приостровном шельфе (4,1 против 4,0 масс.%).

Повышенные содержания рудных компонентов Fe, V, Mn наблюдаются, соответственно, в центральной, эпibatальной, зоне бассейна, в Тернейском прогибе и частично на Западно-Лопатинском поднятии. Связаны они с тонкой фракцией осадка (илами) и образуют там аутигенные минералы (оксиды и гидроксиды). Содержания в прогибах $\text{Fe}_{\text{сумм}}$ (рис. 3), MgO , MnO (против содержаний на прибрежной зоне) соответственно (в масс.%): 4 (5), 0,02–0,03 (5), 0,1–0,2 (0,06–0,07). Отмечено повышенное содержание железа в приматериковой зоне (до 5,5 масс.%), что также указывает на более высокую степень основности, чем в приостровной. КК железа выше 1, но не доходит до кондиционных значений (максимум – 1,43). Высокие значения КК отмечены для ванадия – до 2,5 (без пересчета на

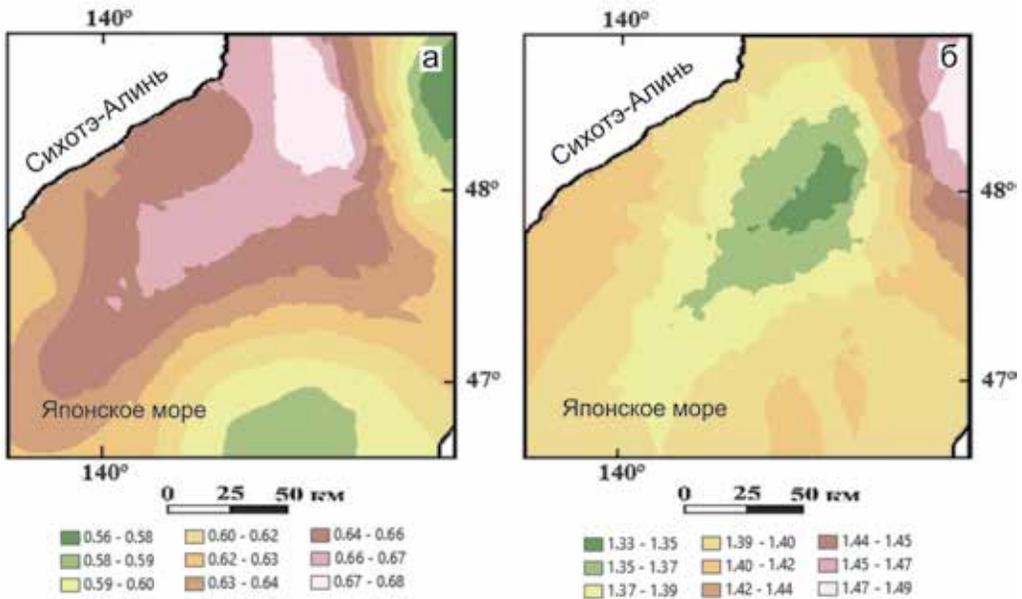


Рис. 2. Распределение кларков концентрации Al (а) и Si (б) на площади Южно-Татарского осадочного бассейна

окись), они намного выше среднего и близки к кондиционным. Также повышенные содержания наблюдаются у марганца (КК достигает 1,54) в южной части Тернейского прогиба.

Сера, которая зачастую образует аутигенные марказит и пирит с железом, концентрируется в эпипатиали (Тернейский прогиб); ее содержание равномерно уменьшается к прибрежной зоне (рис. 3). На такой характер распределения данного компонента могло повлиять наличие углеводородов. КК достигает 2 – высокого показателя для глубоководных осадков. Даже в сравнении с кларками для глубоководных глин и песчаников [4] этот показатель выше почти в 1,5 раза.

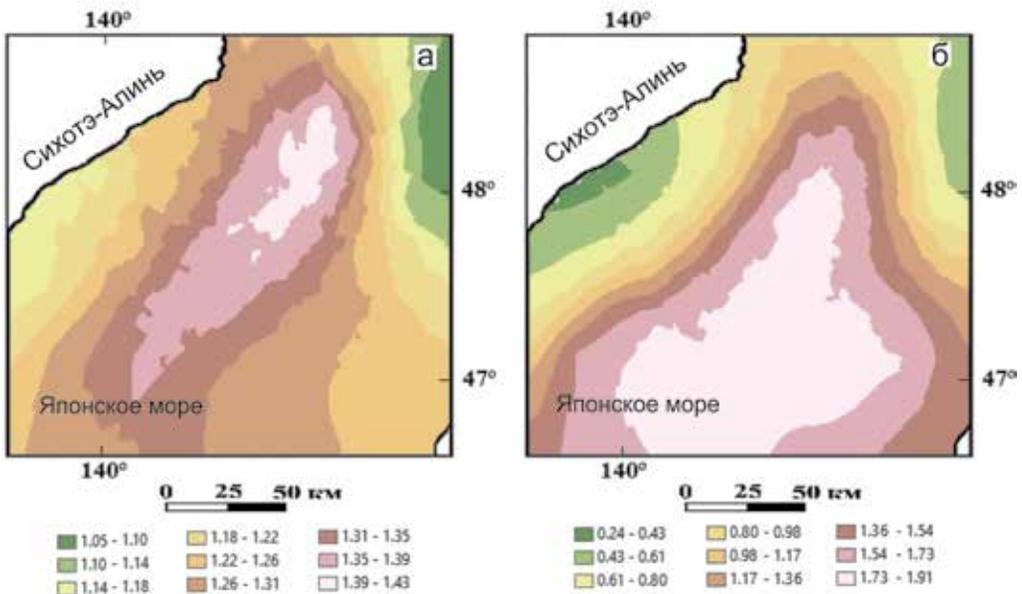


Рис. 3. Распределение кларков концентрации Fe (а) и S (б) на площади Южно-Татарского осадочного бассейна

Микроэлементный состав

Все акцессорные (в том числе рудные) компоненты, такие как Zr, сконцентрированы в прибрежных районах, в псаммитовой и псефитовой фракциях. Другие рудные компоненты, такие как Zn и Pb (и прочие цветные металлы), напротив, сконцентрированы в эпибатальной зоне бассейна (в южной части Тернейского прогиба), так как сами металлы и их соединения легко окисляются и переходят в раствор, благодаря чему могут легко переноситься из прибрежных зон. Однако форма их соединений не совсем ясна (оксиды или примесная). Содержания цветных металлов падает при движении в прибрежную сторону. Распределение Pb и Zn на исследуемой площади бассейна приведено на рис. 4.

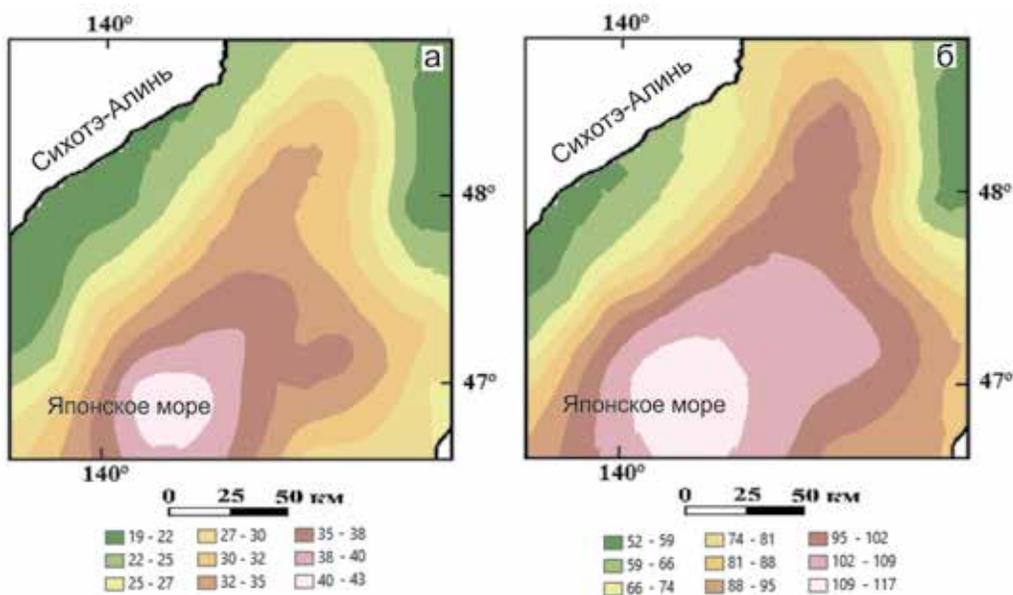


Рис. 4. Распределение концентрации (г/т) цветных металлов Pb (а), Zn (б) на площади Южно-Татарского осадочного бассейна

Выводы

Полученные данные по большей части согласуются с представлениями о возможном влиянии геологического строения суши в прибрежных зонах, в том числе Татарского пролива, и с данными источников [2, 10]. На материке недалеко от берега простирается хр. Сихотэ-Алинь, в строении которого участвуют интрузии среднего и кислого (щелочно-кислого) состава, возле берега наблюдаются протяженные покровы вулканитов и туфов основного состава; в связи с наличием указанных интрузивов отмечаются повышенные содержания некоторых щелочных (например, K_2O) компонентов в донных осадках. На острове Сахалин, наоборот, в основном находятся миоценовые, неогеновые и меловые терригенные породы и осадочные толщи кислого состава. В сравнении с данными Е.А. Радкевич с соавторами [2], которые провели анализ для всего Татарского пролива, в Южно-Татарском осадочном бассейне нами отмечены повышенные содержания кремнезема (75 против 71 масс.%) и оксида магния (5,1 против 1,1 масс.%).

Повышенные содержания отдельных компонентов (SiO_2 и TiO_2) в северной части бассейна связаны с сужением Татарского пролива и наличием преимущественно псаммитовой и псефитовой фракций (пески и гальки).

Содержания рудных компонентов Fe, V, Mn, способных образовывать осадочные месторождения на дне бассейна, не столь значительны в осадках. Исключение составляет

ванадий с концентрациями, близкими к кондиционным в эпибатальной зоне бассейна. В этой же зоне высоки содержания S, что может быть связано либо с активной минерализацией сульфидов, либо с наличием в Тернейском прогибе углеводородов.

Цветные, в том числе тяжелые, металлы (Pb) концентрируются также в глубоководной зоне Тернейского прогиба.

Полученные результаты могут быть использованы при анализе условий образования современных осадочных толщ Южно-Татарского бассейна. Также эти данные перспективны в целях прогнозирования россыпных шельфовых и осадочных месторождений и, вероятно, при поисках углеводородов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенова Т.П., Сараев С.В., Писарева Г.М. Осадконакопление в сублиторальной зоне Татарского пролива и современные россыпи титаномагнетита // Бассейновый литогенез и минерация / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск, 1989. С. 9–16.
2. Геологическое строение прибрежной суши Японского моря / Е.А. Радкевич, С.А. Коренбаум, Г.А. Валуй, В.Ф. Игнатова, О.И. Горбатько // Морская геология и геологическое строение областей питания (Японское и Охотское моря). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 3–27.
3. Геология, геодинамика и перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Татарского пролива / А.Э. Жаров, Г.Л. Кириллова, Л.С. Маргулис, Л.С. Чуйко, В.В. Куделькин, В.Г. Варнавский, В.Н. Гагаев; отв. ред. Г.Л. Кириллова. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 220 с. (Осадочные бассейны Востока России / гл. ред. чл.-корр. РАН А.И. Ханчук; т. 2).
4. Геохимия осадочного процесса / В.Н. Холодов. М.: ГЕОС, 2006. 608 с.
5. Интерпретация геохимических данных: учеб. пособие / Е.В. Складаров и др.; под ред. Е.В. Складарова. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-interpritiaciya-geohimicheskikh-dannyh> (дата обращения: 15.03.2019).
6. Короткий А.М., Гребенникова Т.А., Караулова Л.П., Мохова Л.М. Позднечетвертичные морские отложения Восточного Приморья (Японское море) // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 2. С. 57–72.
7. Левин В.С. Методы анализа состава и физических свойств сублиторальных морских донных осадков в экологических исследованиях. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. 88 с.
8. Леликов Е.П. Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» // Вестн. ДВО РАН. 2006. № 1. С. 156–162.
9. Распределение газообразных углеводородов в донных отложениях и придонно-пограничном слое водной толщи континентального шельфа Южного Вьетнама / П.В. Илатовская, П.Б. Семенов, Е.О. Рыськова, А.Д. Портнов, П.И. Серов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7, № 4. С. 1–13.
10. Современное осадкообразование в Татарском проливе / В.Ф. Игнатова. М.: Наука, 1980. 78 с.