

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© А.А.Фейзуллаев, А.Н.Бабазаде, 2016

## ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОЙ И КРАСНОЦВЕТНОЙ ТОЛЩ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ (НА ПРИМЕРЕ АБШЕРОН-ПРИБАЛХАНСКОЙ ЗОНЫ)

А.А.Фейзуллаев, А.Н.Бабазаде

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана  
AZ1143, Баку, просп.Г.Джавида, 119*

В статье на примере Абшерон-Прибалханской зоны предпринята попытка палеорекострукции условий формирования пород продуктивной (ПТ) и красноцветной (КТ) толщ, используя комплекс широко известных геохимических критериев: соотношение оксидов и микроэлементов. Выявлены общие и отличительные особенности условий формирования ПТ и КТ, обосновывается диагенетическая природа буро-красной окраски КТ. Полученные на примере Абшерон-Прибалханской зоны результаты хорошо согласуются с существующими представлениями об условиях формирования нижнеплиоценовых отложений Южно-Каспийского бассейна.

**Введение**

Как известно, седиментогенезом называется процесс переноса и осаждения вещества. Седиментогенез – это сложное явление, включающее механическую, химическую дифференциацию и интеграцию продуктов выветривания в процессе переноса и осаждения, образование и разрушение коллоидных и ионных систем. Процесс преобразования накопившегося осадочного материала, сочетание и содержание которого зависит от условий осадконакопления, параметров и типа обстановки седиментации, называют диагенезом. Диагенез сопровождается уплотнением породы, удалением воды, разложением неустойчивых минералов, синтезированием новых, перераспределением вещества и т.д. (Состав и строение..., 2011).

Стадия преобразования осадков в горные породы называется диагенезом. Диагенез, объединенный с седиментогенезом, составляет понятие *литогенез* (Страхов, 1962).

Для палеорекострукции условий литогенеза в настоящее время широко используются геохимические индикаторы (Геохимические исследования..., 1978; Лукашев, 1980; Скляр, 2001; Лукашев, 1972; Маслов, 2005; Резников, 1961; Юдович, Кетрис, 2000; 2011), некоторые из которых были впервые введены в середине XX в., но системно применены в конце прошлого века.

Под геохимическими индикаторами понимается ряд отношений химических элементов и оксидов, изучение распределения которых дает ключ к пониманию процессов седиментогенеза и влияния на него палеогеографических факторов (Лукашев, 1972; Маслов, 2005; Нестеров и др., 2013 и др.).

В данной статье предпринята попытка палеорекострукции условий литогенеза в нижнеплиоценовое время на северном борту Южно-Каспийской впадины (ЮКВ), используя известные в литературе геохимические критерии.

Выполненные в последние годы геохимические исследования пород ПТ и КТ (Productive..., 1998; Гасанов, 2016 и др.) позволяют на примере Абшерон-Прибалханской зоны рассмотреть условия формирования нижнеплиоценовых отложений с использованием широко известных геохимических критериев. Для этого использован ряд соотношений оксидов и малых химических элементов, значение которых приводится ниже.

*Отношение Sr/Ba* является критерием разделения морских и пресноводных отложений. Как правило, пресноводные отложения имеют значения менее 1, а морские – больше 1 (Геохимические исследования..., 1978; Катченков, 1959; Бекботаева и др., 2013). Генетическая сущность этого критерия заключается в том, что в прибрежно-морских осадках наблюдаются вы-

сокие содержания бария. В отличие от бария стронций химически осаждается в морской воде только при повышенной солености воды. Увеличение значений отношения Sr/Ba указывает на повышение солености водоема.

**Отношение Mn/Ni** используется как фациальный индикатор прибрежно-морских обстановок осадконакопления. Теоретическая основа применения этого критерия заключается в том, что максимальные концентрации марганца характерны для участков шельфа, удаленных от берега, никель же концентрируется преимущественно в лагунных отложениях при наличии значительного количества органического вещества (Лукашев, 1972).

**Отношение Ti/Mn** является показателем глубины водного бассейна. Титан обычно накапливается в наиболее мелководных фациях (Исаева, 1971).

**Отношение V/Ni** отражает геохимическую обстановку среды осадконакопления и называется коэффициентом восстановленности среды. Его величина выше 5 (Green, 1953; 1959) характеризует восстановительную среду осадконакопления. Ванадий больше связан с богатым органикой обломочным материалом (Юдович, Кетрис, 2011).

Значения **отношения U/Th** значительно ниже в глубоководных отложениях (около 2), чем в мелководных (около 4) (Bjorlykke et al., 1975).

**Отношение Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO** широко используется в качестве показателя, характеризующего геохимическую обстановку осадконакопления: значения этого отношения, превышающие 1, указывают на существование окислительных, а меньше 1 – восстановительных условий в среде седиментации (Бекботаева и др., 2013; Габлина, Малиновский, 2008). При наличии в биосфере органических веществ (ОВ) Fe<sup>3+</sup> восстанавливается до Fe<sup>2+</sup> и легко мигрирует, а при встрече с кислородом воздуха Fe<sup>2+</sup> окисляется, образуя скопления красно-бурых гидроксидов трехвалентного железа. Этим определяется окраска многих осадочных горных пород и их наименование "красноцветная формация" (красные и бурые суглинки и глины, желтые пески и т. д.).

**Отношение CaO/MgO** используется для палеореконструкции минерализации бассейна: она считается низкой при значении этого отношения больше 1 и относительно повышенной – при значениях меньше 1 (Бекботаева и др., 2013).

**Отношение Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O** служит показателем химического выветривания пород питаю-

щей провинции: оно слабое при значениях больше 1 и интенсивное – при значениях меньше 1 (Бекботаева и др., 2013).

**Отношение SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** чувствительно к процессам рециклирования и выветривания осадков. Чем дольше терригенный материал подвергается переносу и чем дальше отлагается от источника сноса, тем больше выражена в осадках тенденция к обогащению кварцем по сравнению с полевыми шпатами (Казанский, 1983; Roser, Korsch, 1986).

**Отношение TiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** (Титановый модуль – ТМ) выше в гумидных отложениях, чем в аридных (Юдович, Кетрис, 2011).

**Отношение Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MnO** отражает геохимическую обстановку осадконакопления: в восстановительных условиях его значения существенно выше (Юдович, Кетрис, 2011).

**Отношение K<sub>2</sub>O/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** (Калиевый модуль – КМ). Высокие (5% и больше, до 10-12%) содержания K<sub>2</sub>O в осадочных породах обязаны или размыву специфических аридных кор выветривания, или примеси кислой пирокластики (Юдович, Кетрис, 2000).

## Результаты исследований

Абшерон-Прибалханская зона (порог) относится к восточному продолжению Большекавказского орогенического пояса. Эта зона протягивается на расстояние примерно 275 км (рис. 1) через северную часть ЮКБ между полуостровами: Абшеронским на западе и Челекенским на востоке.

В западной части этой зоны (азербайджанский сектор) нижнеплиоценовые отложения представлены породами продуктивной толщи, а в восточной (туркменский сектор) – красноцветной толщей. В пределах Абшерон-Прибалханского порога отложения ПТ получили развитие до структуры Кяпяз и представлены в абшеронской литофации, богатой кварцевыми песками с высокими значениями пористости и проницаемости. К Востоку от поднятия Кяпяз развиты отложения КТ (рис. 1). Сама структура Кяпяз находится в транзитной зоне, и поэтому первоначально она была названа Промежуточной.

Продуктивная и красноцветная толщи являются главным нефтегазоносным резервуаром Южно-Каспийского бассейна, в котором сосредоточено до 90% его ресурсов, и поэтому условия его формирования представляют большой научный интерес для геологов.

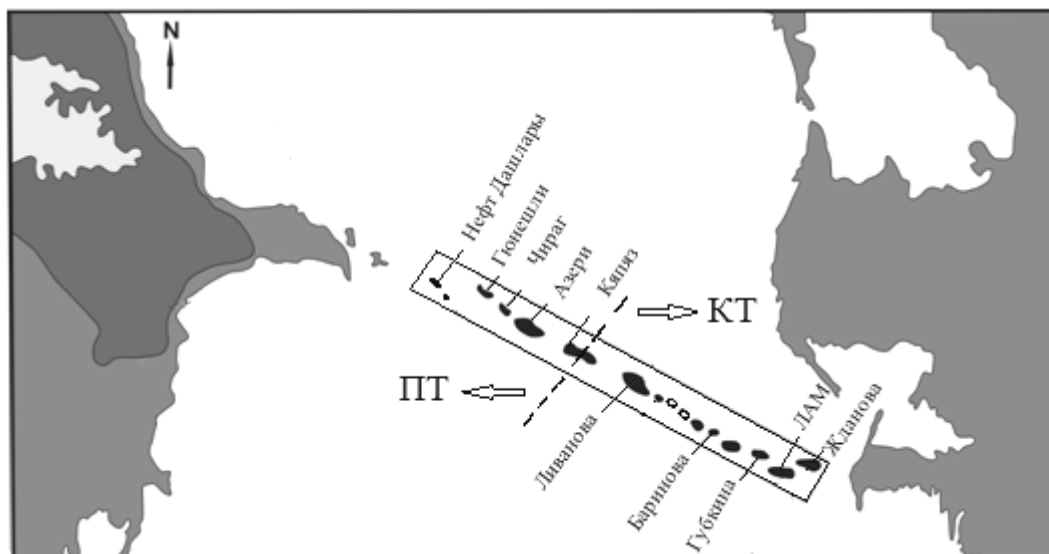


Рис. 1. Схема расположения района исследования, нефтегазоносных структур, границы сочленения отложений ПТ и КТ

Главными источниками формирования вещественного состава ПТ-КТ в пределах Абшеронского архипелага являлись Русская Платформа и Б.Кавказ, в то время как в Прибалханском районе – преимущественно Балханские, а также Копетдагские горноскладчатые массивы.

Поскольку отложения ПТ и КТ образовались в едином бассейне, они считаются аналогами. Вместе с тем формирование их из разных источников дает основание предположить существование некоторых их отличительных особенностей. В связи с этим ниже дается сравнительная характеристика пород ПТ и КТ, основанная на обобщении и анализе выполненного в

последние годы большого объема литогеохимических исследований.

Общность условий осадконакопления и последующих диагенетических процессов в ПТ и КТ находит свое подтверждение при сравнении средних значений содержания в породах оксидов (рис.2) и микроэлементов (рис. 3).

Палеореконструкция условий в период литогенеза пород ПТ и КТ, опираясь на комплекс широко используемых геохимических параметров – соотношения оксидов (табл. 1) и микроэлементов (табл. 2), показала нижеследующее.

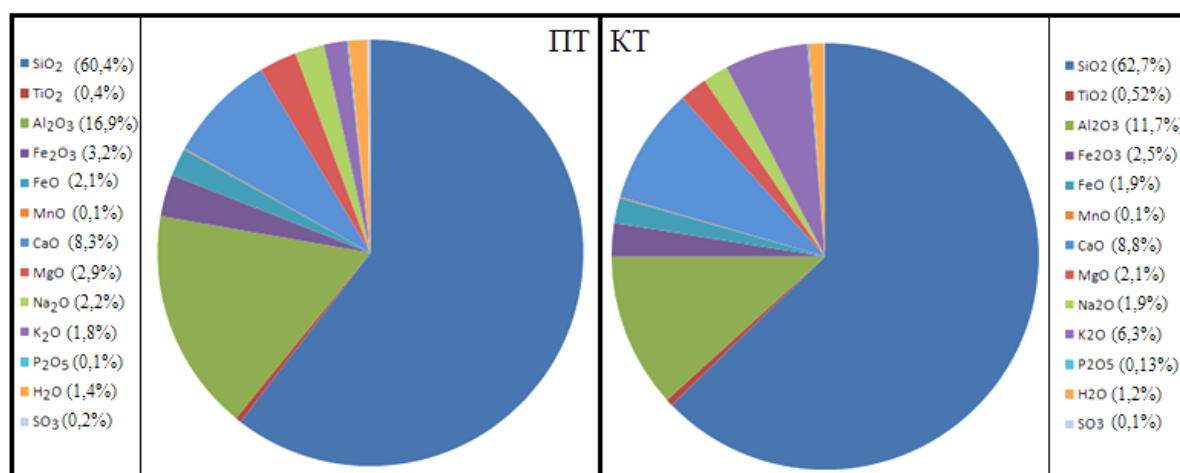


Рис. 2. Круговая диаграмма содержания в породах ПТ и КТ средних значений оксидов в пределах Абшерон-Прибалханского порога

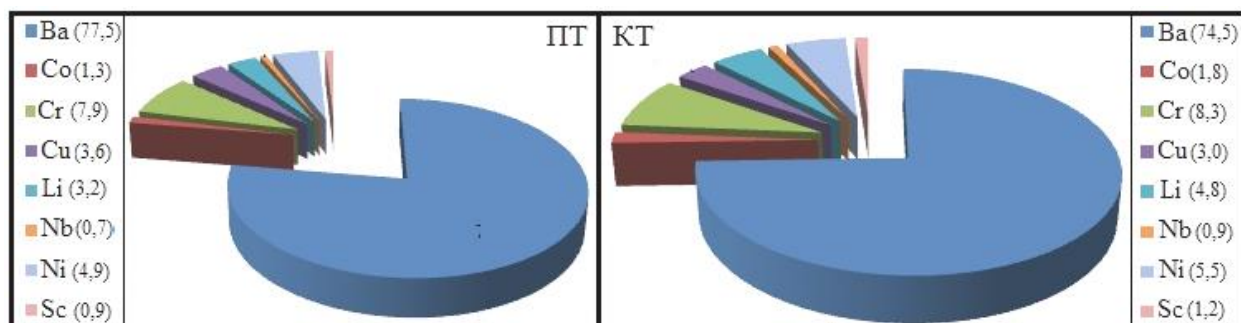


Рис. 3. Круговая диаграмма содержания в породах ПТ и КТ средних значений микроэлементов в пределах Абшерон-Прибалханского порога

Таблица 1

Значения геохимических параметров пород ПТ и КТ, соотношение оксидов

Объект	Кол-во анализов	Геохимические параметры*						
		SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /MnO	CaO/MgO	K <sub>2</sub> O/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /FeO
ПТ	101	<u>2,65-34,98</u>	<u>0,039-0,160</u>	<u>13,45-223,67</u>	<u>0,62-75,88</u>	<u>0,130-0,251</u>	<u>0,34-1,21</u>	<u>0,03-6,67</u>
		<b>7,2</b>	<b>0,055</b>	<b>66,6</b>	<b>5,25</b>	<b>0,187</b>	<b>0,73</b>	<b>1,41</b>
КТ	100	<u>2,85-32,02</u>	<u>0,033-0,149</u>	<u>12,889-134,714</u>	<u>1,66-14,02</u>	<u>0,154-0,231</u>	<u>0,39-1,77</u>	<u>0,08-2,69</u>
		<b>5,6</b>	<b>0,046</b>	<b>50,6</b>	<b>4,24</b>	<b>0,190</b>	<b>0,78</b>	<b>0,88</b>

\* в числителе – пределы изменения; в знаменателе – среднее значение

Таблица 2

Значения геохимических параметров пород ПТ и КТ, соотношение микроэлементов (рассчитаны по данным Ф.Д.Гасанова)

Объект	Геохимические параметры*				
	Sr/Ba	Ti/Mn	Mn/Ni	V/Ti	V/Ni
ПТ	<u>0,05-0,87</u>	<u>2,16-31,42</u>	<u>2,05-28,4</u>	<u>0,004-0,119</u>	<u>1,25-12,92</u>
	<b>0,30</b> (24)	<b>10,76</b> (25)	<b>14,77</b> (25)	<b>0,051</b> (26)	<b>4,77</b> (25)
КТ	<u>0,06-0,78</u>	<u>3,0-8,68</u>	<u>13,2-31,5</u>	<u>0,010-0,045</u>	<u>1,17-5,0</u>
	<b>0,35</b> (34)	<b>5,21</b> (28)	<b>20,74</b> (28)	<b>0,023</b> (34)	<b>2,30</b> (28)

\* в числителе – пределы изменения; в знаменателе – среднее значение (число анализов)

Одним из очевидных признаков отличия нижнеплиоценовых пород на восточном борту ЮКБ (туркменский сектор) от пород на западном борту бассейна (азербайджанский сектор) является их характерная красно-бурая окраска.

Вопрос, когда и как формируется широкий диапазон цветов осадочных пород, длительное время является предметом научных дебатов. Вместе с тем известно, что бурая окраска осадочных пород зависит от характера пигментации окисными и закисными соединениями железа (Габлина, 1990; Бекботаева и др., 2013).

Красная окраска пород КТ может быть обусловлена несколькими причинами:

- результатом размыва пестроокрашенных пород горноскладчатых массивов Западной Туркмении (Большого и Малого Балхана, Западного Копет-Дага);

- преобладанием в КТ окислительной обстановки осадконакопления;

- химическими процессами в диагенезе.

Исходя из рис. 4, где приведен график зависимости между содержанием в породах Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO, тенденция их изменения в ПТ и КТ хорошо согласуется. Тем не менее, средние значения отношения Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO для ПТ и КТ отличаются (см. табл. 1).

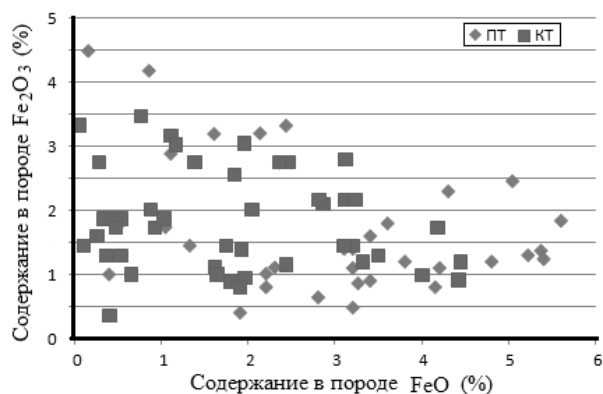


Рис. 4. График зависимости между значениями закиси и окиси железа в породах ПТ и КТ в пределах Абшерон-Прибалханского района

Доминирует мнение, что окраска пород имеет в основном диагенетическое происхождение (McBride, 1974; Fichter et al., 1991; Winkler, 1997).

Предположение о диагенетической природе окраски пород более приемлемо и для КТ, поскольку значения  $Fe_2O_3/FeO$  не подтверждают происхождение ее красно-бурой окраски окислительными геохимическими условиями осадконакопления. В породах КТ закисное железо преобладает над окисным, в то время как в породах ПТ, наоборот, окисное железо преобладает над закисным (см. табл. 1). Этот показатель, а также значения отношений  $Fe_2O_3/MnO$ ,  $V/Ni$  указывают на то, что бассейн ПТ характеризовался более окислительными условиями, т.е. господством активного кислорода в атмосфере и гидросфере (Химический состав..., 2014).

Согласно значениям отношения  $CaO/MgO$  и  $Sr/Br$  (см. табл. 1 и 2), нижнеплиоценовый бассейн характеризовался низкой минерализацией. Это согласуется и с минерализацией воды современного Каспия, которая значительно ниже (12,9 %), чем Мирового океана (35 %).

Опираясь на значения отношения  $Na_2O/K_2O$  (см. табл. 1), можно утверждать, что интенсивность химического выветривания пород источника, питающего бассейн накопления нижнеплиоценовых осадков, была существенной.

Согласно значениям отношений  $Th/U$  и  $V/Ti$ , нижнеплиоценовые осадки накапливались в мелководных условиях, причем вдали от источника сноса, особенно при накоплении ПТ (по показателям  $SiO_2/Al_2O_3$  и  $Ti/Mn$ ). Последнее справедливо, поскольку известно, что ПТ, представленная здесь абшеронской фацией, с содер-

жанием до 80-90% кварца, сформировалась за счет поступления осадочного материала с Русской платформы, а транспортным средством являлась палео-Волга.

По показателю  $Mn/Ni$  осадки ПТ, в отличие от КТ, накапливались в лагунных условиях при относительно повышенном наличии ОВ. Этот вывод хорошо подтверждается данными пиролиза пород. Сравнение результатов пиролиза пород ПТ и КТ по площадям Абшерон-Прибалханского порога показало, что УВ потенциал пород ПТ (суммарное содержание органического углерода, ТОС), выше в сравнении с породами КТ (рис.5). С полученными данными хорошо согласуется заключение М.И.Бурцева (2006), согласно которому красно-пестроцветные породы характеризуются минимальным содержанием  $C_{орг}$ .

По значениям отношений  $TiO_2/Al_2O_3$  и  $K_2O/Al_2O_3$  можно заключить о размыве и сносе в нижнеплиоценовый бассейн аридных кор выветривания.

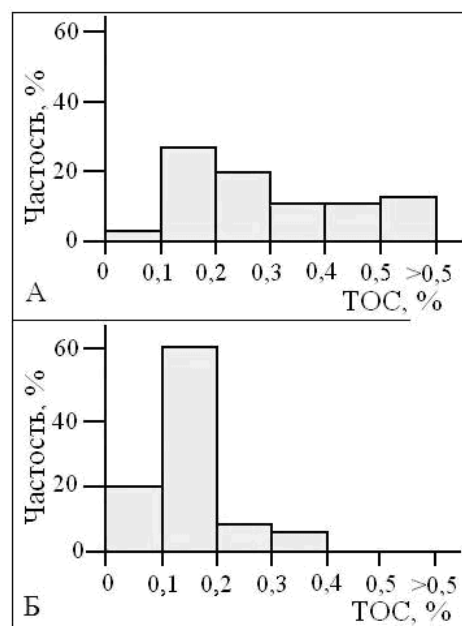


Рис. 5. Гистограммы распределения значений суммарного содержания органического углерода (ТОС) в породах ПТ (А) и КТ (Б)

### Заключение

На примере Абшерон-Прибалханской зоны осуществлена палеорекострукция условий седиментогенеза-диагенеза нижнеплиоценовых отложений (ПТ-КТ) с использованием широкого комплекса геохимических критериев (отноше-

ний оксидов и микроэлементов), которая позволила выявить общие и отличительные особенности их формирования (окислительно-восстановительные условия, глубоководность бассейна, дальность сноса осадков, палеоклимат в области сноса, соленость бассейна). Полученные результаты хорошо согласуются с существующими представлениями об условиях формирования нижнеплиоценовых отложений в ЮКБ. В частности, подтверждено существование неблагоприятных геохимических условий для формирования высокого углеводородного потенциала пород в нижнеплиоценовом бассейне.

Обосновывается диагенетическая природа буро-красноцветной окраски КТ.

#### ЛИТЕРАТУРА

- БЕКБОТАЕВА, А.А., БЕКБОТАЕВ, А.Т., БАЙБАТША, А.Б. 2013. Литогенетические особенности возникновения окраски песчаников Жезказгана. В трудах международной практической конференции *Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века*, 29-32.
- БУРЦЕВ, М.И. 2006. Поиски и разведка месторождений нефти и газа. Учебное пособие. Издательство Российского Университета дружбы народов. Москва. 263с.
- ГАБЛИНА, И.Ф., МАЛИНОВСКИЙ, Ю.М. 2008. Периодичность меденакпления в осадочной оболочке Земли. *Литология и полезные ископаемые*, 2, 155-173.
- ГАСАНОВ, Ф.Д. 2016. Микроэлементы нижнеплиоценовых отложений Южно-Каспийской впадины. Элм. Баку.
- ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ. 1978. Тр. ВСЕГЕИ. 295, 133с.
- ИСАЕВА, А.Б. 1971. Титан и соотношение его с железом в осадках Индийского океана. *Геохимия*, 3, 310-317.
- КАЗАНСКИЙ, Ю.П. 1983. Введение в теорию осадконакопления. Наука. Новосибирск. 223с.
- КАТЧЕНКОВ, С.М. 1959. Малые химические элементы в осадочных породах и нефтях. Гостоптехиздат. Ленинград. 271с.
- ЛУКАШЕВ, В.К. (под ред.). 1980. Геохимические показатели при изучении геологических процессов и поисках полезных ископаемых. Наука. Минск. 152с.
- ЛУКАШЕВ, В.К. 1972. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Наука. Минск. 318с.
- МАСЛОВ, А.В. 2005. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. УГГУ. Екатеринбург. 289с.
- НЕСТЕРОВ, Е.М., МОРОЗОВ, Д.А., ВЕСЕЛОВА, М.А., ХАРИТОНЧУК, А.Ю. 2013. Геохимическая индикация донных отложений в теории и практике палеоэкологических исследований. *Проблемы региональной экологии*, 5, 71-75.
- РЕЗНИКОВ, А.Н. 1961. Железо-марганцевый коэффициент как показатель обстановки осадконакопления. *Изв. вузов. Нефть и газ*. 1, 19-22.
- СКЛЯРОВ, Е.В. (под ред.). 2001. Интерпретация геохимических данных. Интернет Инжиниринг. Москва. 288с.
- СОСТАВ И СТРОЕНИЕ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД. 2011. Справочник по геологии. *GEOLIB.NET*. <http://www.geolib.net/lithology/sostav-i-stroenie-osadochnyh-porod.html>
- СТРАХОВ, Н.М. 1962. Основы теории литогенеза. Т. 2. Изд. АН СССР. Москва. 267с.
- ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД. 2014. Лекциопедия, 3, 13. <http://leksiopedia.org/lek-13262.html>
- ЮДОВИЧ, Я.Э., КЕТРИС, М.П. 2000. Основы литогеохимии. Наука. Санкт-Петербург. 479с.
- ЮДОВИЧ, Я.Э., КЕТРИС, М.П. 2011. Геохимические индикаторы литогенеза (Литологическая геохимия). Геопринт. Сыктывкар. 742с.
- BJORLYKKE, K., DYPVIK, H., FINSTAD, K.G. 1975. The Kimmeridge Shale, its composition and radioactivity. In: *Jurassic Northern North Sea Symposium*. 12, 20p.
- FICHTER, L.S., FARMER, G.T., CLAY, J.S. 1991. Earth materials and earth processes. *Macmillan publishing company*. 301.
- GREEN, J. 1953; 1959. Geochemical table of the elements. *Bull. Geol. Soc. of America*. 64(9); 70.
- McBRIDE, E.F. 1974. Significance of color in red, green, purple, olive, brown, and gray beds of Difunta group, Northeastern Mexico. *Journal of Sedimentary Research*. 44, 649-654.
- PRODUCTIVE AND RED SERIES SEDIMENTARY SEQUENCES of the Caspian Sea offshore Azerbaijan and Turkmenistan with biofacies/chemstrat correlation. 1998. *GIA-GeochemGroup Report*. 97/1529/001/003/004/01, 2.
- ROSER, B.P., KORSCH, R.J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *J. Geol.* 94, 635-650.
- WINKLER, E.M. 1997. Stone in architecture: properties, durability. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 131p.

*Рецензент: академик П.З.Мамедов*