

УДК 550.4:551.73

DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-819-838

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭТАЛОННЫХ РАЗРЕЗОВ ПРИУРАЛЬСКОГО ОТДЕЛА ПЕРМСКОЙ СИСТЕМЫ

© 2018 г. Г. А. Мизенс<sup>1</sup>, Р. Х. Сунгатуллин<sup>2</sup>, Г. М. Сунгатуллина<sup>2</sup>, Б. И. Гареев<sup>2</sup>,  
Г. А. Баталин<sup>2</sup>, Ф. Ф. Садриев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15,  
e-mail: mizens@igg.uran.ru

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18,  
e-mails: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru, Guzel.Sungatullina@kpfu.ru

Поступила в редакцию 26.09.2017 г., принята к печати 16.10.2017 г.

**Объект исследований.** Рассматриваются геохимические особенности пород из разрезов Дальний Тюлькас и Мечетлино, расположенных в южной части Предуральского прогиба и предлагаемых в качестве международных эталонов для глобальной корреляции нижних границ артинского и кунгурского ярусов. **Материалы и методы.** Содержание породообразующих окислов и некоторых других компонентов изучено по 15 и 20 образцам карбонатных, глинистых и песчаных пород соответственно в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино. Определение химического состава пород выполнено с использованием волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия). **Результаты.** Дана литологическая характеристика разрезов, приведено содержание породообразующих компонентов в аргиллитах и известняках пограничных (сакмарско-артинского и артинско-кунгурского) интервалов. Показано, что аргиллиты разных стратиграфических уровней практически идентичны по средним содержаниям основных компонентов, тогда как известняки имеют некоторые различия. Проанализированы корреляционные связи породообразующих окислов и сделаны выводы о минеральном составе пород. С использованием петрохимических модулей и диаграмм установлено, что глинистые породы в рассматриваемых разрезах имеют главным образом гидрослюдистый состав. На основании анализа индексов химического выветривания показано, что климат в приуральскую эпоху был преимущественно аридным. Тектоническая обстановка, в которой формировались породы, слагающие источники сноса, предположительно соответствовала активной и пассивной окраинам континентов. **Выводы.** Основные литохимические характеристики пород двух рассматриваемых разрезов в целом несколько различаются, однако границы стратиграфических подразделений в пределах каждого из них по литохимическим параметрам практически не выделяются, что может свидетельствовать в пользу непрерывности осадконакопления на границах веков приуральской эпохи в данном регионе. Условия осадконакопления и характер размываемых пород в области сноса оставались относительно постоянными. Это является положительным моментом при рассмотрении разрезов в качестве эталонных объектов – “золотых звезд”.

**Ключевые слова:** пермь, приуральский отдел, геохимия, литология, петрохимические модули, эталонные разрезы, Дальний Тюлькас, Мечетлино, Предуральский прогиб

## REFERENCE SECTIONS OF CISURALIAN SERIES (PERMIAN SYSTEM): GEOCHEMICAL FEATURES

Gunar A. Mizens<sup>1</sup>, Rafael Kh. Sungatullin<sup>2</sup>, Guzel M. Sungatullina<sup>2</sup>, Bulat I. Gareev<sup>2</sup>,  
Georgiy A. Batalin<sup>2</sup>, Fanis F. Sadriev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg  
620016, Russia, e-mail: mizens@igg.uran.ru

<sup>2</sup>Kazan (Volga) Federal University, 18 Kremlin st., Kazan 420008, Russia, e-mails: Rafael.Sungatullin@kpfu.ru,  
Guzel.Sungatullina@kpfu.ru

Received 26.09.2017, accepted 16.10.2017

**Object.** Geochemical features of rocks from the Dal'ny Tulkas and Mechetlino sections located in the southern part of the West Urals foredeep are considered and are offered as International Standards for the global correlation (GSSP) of the lower boundaries of the Artinskian and Kungurian stages. **Materials and methods.** The content of rock-forming oxides and other components were studied for 15 and 20 samples of carbonate, clay and sandy rocks respectively in the sections of Dalnii

**Для цитирования:** Мизенс Г.А., Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., Гареев Б.И., Баталин Г.А., Садриев Ф.Ф. (2018) Геохимическая характеристика эталонных разрезов приуральского отдела пермской системы. *Литосфера*, **18**(6), 819-838. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-819-838

**For citation:** Mizens G.A., Sungatullin R.Kh., Sungatullina G.M., Gareev B.I., Batalin G.A., Sadriev F.F. (2018) Reference sections of Cisuralian Series (Permian System): geochemical features. *Litosfera*, **18**(6), 819-838. DOI: 10.24930/1681-9004-2018-18-6-819-838

Tyulkas and Mechetlino. The determination of the chemical composition of rocks was performed using a wave-dispersive X-ray fluorescence spectrometer S8 Tiger (Bruker, Germany). *Results.* The lithological characteristics of the sections, the content of oxides in mudstones and limestones of the boundary Sakmarian-Artinskian and of the boundary Artinskian-Kungurian are taken. Mudstones of different stage are almost identical in average contents of the main components, whereas limestones have some differences. Correlative connections of oxides are analyzed and conclusions about mineral composition of rocks are made. Using the petrochemical modules and diagrams, it was established that the clay rocks in considered sections have mainly a hydromica composition. Based on the analysis of the indices of chemical weathering CIA, it is shown that the climate in the Cisuralian Epoch was predominantly arid. The tectonic environment of forming demolition sources, presumably corresponded to the active and passive margins of the continents. *Conclusions.* The main lithochemical characteristics of the rocks of the two sections under consideration are somewhat different, however, the boundaries of the stratigraphic subdivisions of each of them are virtually indistinguishable by lithochemical parameters, which may indicate the benefit of the continuity of sedimentation at the borders of centuries of the Cisuralian Epoch in this region. The conditions of sedimentation and the nature of eroded rocks in the area of demolition remained relatively constant. This is a positive point when looking the sections as International Standards for the global correlation (GSSP) reference objects – “golden nails”.

**Keywords:** *Permian, Cisuralian, geochemistry, lithology, petrochemical modules, reference sections, Dal'nyTyulkas, Mechetlino, West-Uralian foredeep*

#### Acknowledgements

*The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 16-05-00306a) and at the expense of subsidies allocated to the Kazan (Volga Region) Federal University as part of state support in order to increase its competitiveness among the world's leading scientific and educational centers tasks in the field of scientific activity.*

## ВВЕДЕНИЕ

В 2015 г. в Казани состоялся XVIII Международный конгресс по каменноугольной и пермской системам. Конгресс сопровождался геологическими экскурсиями на разрезы нижней перми, расположенные на территории Республики Башкортостан, на западном склоне Южного Урала. В частности, участники конгресса познакомились с разрезами – потенциальными кандидатами в международные эталоны нижних границ приуральского отдела пермской системы Международной стратиграфической шкалы (МСШ) – Мечетлино и Дальний Тюлькас. В последнем (Гафурийский район Башкортостана) представлены пограничные отложения сакмарского и артинского ярусов, в разрезе Мечетлино (Салаватский район) – соответственно артинского и кунгурского ярусов. По мнению российских и зарубежных стратиграфов и палеонтологов, упомянутые разрезы имеют неплохие шансы на признание их в качестве эталонных объектов для глобальной корреляции в статусе так называемых “золотых гвоздей” (GSSP). Необходимо отметить, что до настоящего времени на территории России не имеется ни одного “золотого гвоздя” в фанерозое, поэтому продвижение указанных разрезов в данном направлении будет способствовать повышению престижа российской геологии.

В ходе экскурсий, однако, было установлено, что представленные уральские разрезы не в полной мере отвечают современным требованиям Международной стратиграфической комиссии к стратотипам нижних границ ярусов. Они требуют существенного доизучения, в том числе вскрытия дополнительных интервалов разреза, проведения геохимических и изотопных исследований, получения

абсолютных датировок возраста U-Pb методом, выявления дополнительных биостратиграфических критериев и комплексного обоснования границ по различным группам фауны и флоры. В целях выполнения этих задач членами Международной комиссии по пермской системе было рекомендовано провести расчистку разрезов, которая и была осуществлена в 2016 г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗОВ

Рассматриваемые разрезы расположены в осевой части Предуральского прогиба (рис. 1) и относятся к разным частям классической флишевой формации [Мизенс, 1997; Тевелев и др., 2016]. Для них характерно отсутствие перерывов в осадконакоплении, и они достаточно детально изучены в биостратиграфическом отношении [Чувашов и др., 1990; Чувашов, Черных, 2011; Chernykh et al., 2015].

Предуральский краевой прогиб возник в конце палеозоя на платформенном основании, когда интенсивные напряжения и деформации, приведшие к образованию Уральского складчатого сооружения, стали распространяться на Восточно-Европейскую платформу, вовлекая ее в процессы развития горной системы. Уральский ороген при этом надвигался на край платформы, где образовалась глубоководная впадина, которая в результате интенсивной эрозии растущего Урала стала заполняться обломочными толщами. Восточный борт прогиба захватывался уральскими деформациями, а на западе возникали барьерные рифы. Во второй половине кунгурского века остаточный прогиб заполнялся отложениями молассовой формации и мощными эвапоритовыми толщами.

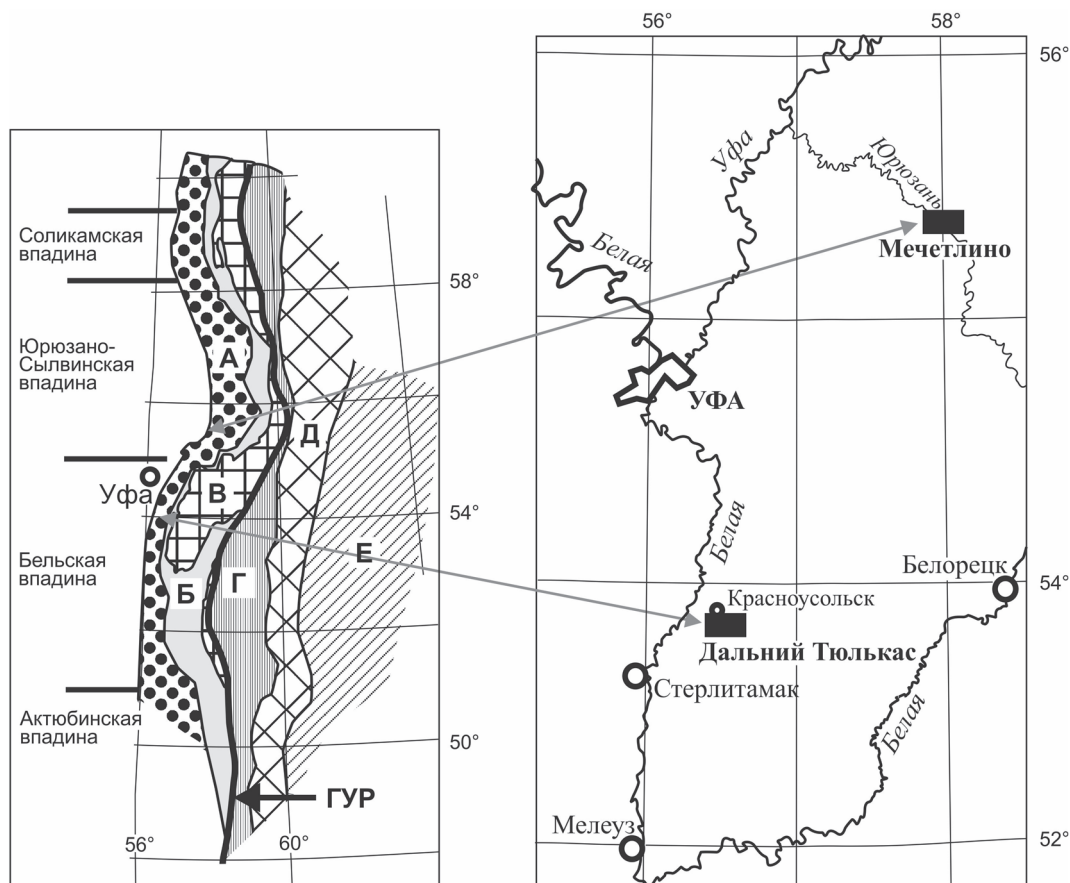


Рис. 1. Расположение изученных объектов.

А – Предуральский прогиб; Б–Е – мегазоны и зоны: Б – Западно-Уральская, В – Центрально-Уральская, Г – Тагил-Магнитогорская, Д – Восточно-Уральская, Е – Зауральская; ГУР – Главный Уральский разлом.

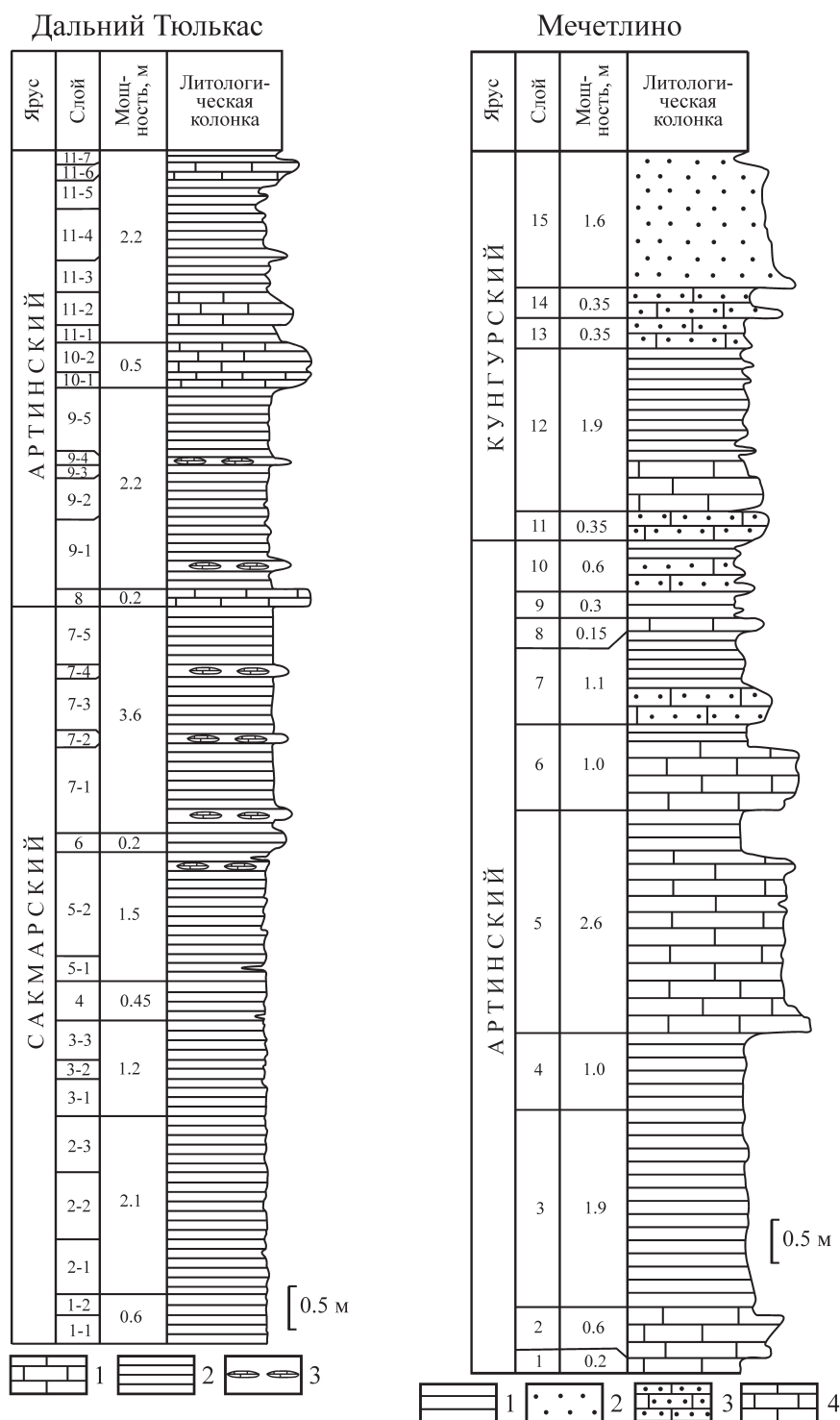
Fig. 1. Location of the objects.

A – Cisuralian foredeep; Б–Е – megazones and zones: Б – Western Urals, В – Central Urals, Г – Tagil-Magnitogorsk, Д – Eastern Urals, Е – Transuralian; ГУР – Main Urals fault.

Разрез Дальний Тюлькас обнажается в придорожном карьере на правом берегу одноименной реки, левого притока р. Усолка (в 3 км выше устья), которая, в свою очередь, впадает в р. Белая. Разрез представлен серией терригенно-карбонатных пород (известковые аргиллиты, глинистые слабодоломитизированные известняки) сакмарского (курортная свита) и артинского (тюлькасская свита) ярусов (рис. 2). Слои карбонатных и карбонатно-глинистых пород разделены тонкими (до первых сантиметров) прослойками и пленками аргиллитов. В артинской части разреза встречаются прослои органогенно-детритовых известняков. На разных уровнях присутствуют линзы и линзовидные прослои известняковых конкреций. По всему разрезу распространены многочисленные растительные остатки (в том числе крупные фрагменты водорослей) и споры растений, встречается чешуя рыб. В составе карбонатно-глинистых пород много радиолярий, раковины которых местами замещены

кальцитом. Органогенно-обломочные известняки содержат фрагменты члеников криноидей, обломки раковин брахиопод (и иглы брахиопод), мшанок, нередко фораминиферы (как мелкие, так и фузулиноиды), местами много прямых головоногих моллюсков. Мощность рассматриваемого интервала разреза составляет 13.8 м. Из них 8 м относится к сакмарскому ярусу, а 5.8 м – к артинскому. В формационном отношении пограничный интервал относится к предфлишу [Мизенс, 1997]. Этот разрез рассматривается в качестве эталонного объекта нижней границы артинского яруса, которая определяется по появлению конодонтов *Sweetognathus whitei* [Chuvashov et al., 2013].

Разрез Мечетлино (см. рис. 1) расположен у одноименного села на правом склоне долины р. Юрюзань. Он является кандидатом для глобального стратотипа нижней границы кунгурского яруса МСШ [Чувазов, Черных, 2011; Chernykh et al., 2012, 2015]. В пределах небольшого карьера здесь



**Рис. 2.** Литологические колонки пограничных интервалов – сакмарско-артинского (Дальний Тюлькас) и артинско-кунгурского (Мечетлино).

Разрез Дальний Тюлькас: 1 – известняки, 2 – тонкослоистые глинистые карбонаты и известковые аргиллиты, 3 – известняковые конкреции.

Разрез Мечетлино: 1 – аргиллиты, 2 – песчаники, 3 – известняковые песчаники и песчаные известняки, 4 – известняки.

**Fig. 2.** Lithological columns for the Sakmarian/Artinskian (Dal'ny Tulkas) and Artinskian/Kungurian (Mechetlino) boundary intervals.

Dal'ny Tulkas section: 1 – limestones, 2 – clayey limestones and calcareous mudstones, 3 – calcareous concretions.

Mechetlino section: 1 – mudstones, 2 – sandstones, 3 – calcareous sandstones and sandy limestones, 4 – limestones.

обнажаются карбонатно-терригенные отложения верхней части артинского (габдрашитовская свита) и нижней части кунгурского (саранинский горизонт) ярусов. Граница между артинским и кунгурским ярусами проходит между слоями 8 и 9 в толще песчаников (см. рис. 2) и определяется по появлению конодонтов *Neostreptognathodus pnevi* Kozur et Movshovich [Chernykh et al., 2015]. Общая мощность разреза в карьере около 10 м, поэтому во время экскурсии Международного конгресса было рекомендовано расчистить артинские отложения вниз по склону.

Разрез Мечетлино сложен турбидитами силикатного, реже карбонатного состава, залегающими среди фоновых глинистых, карбонатно-глинистых и песчано-глинистых пород. Песчаники от мелко- до крупнозернистых, по составу главным образом кварцевые (граувакки, согласно классификации В.Н. Шванова). Среди обломков пород в них распространены кремни, основные (реже кислые) вулканиты, кварциты, слюдяные сланцы, известняки. Нередко присутствуют органические остатки (фораминиферы, обломки водорослей, криноидей, брахиопод, мшанок), много растительных остатков, в том числе крупных. Слои карбонатов чаще всего представлены органогенно-детритовыми известняками – мелко- и грубо(крупно)-обломочными. Органические остатки разнообразны: фрагменты мшанок, криноидей, иглы морских ежей, обломки и иглы раковин брахиопод, фораминиферы, водоросли, спиккулы губок, встречаются аммониты. Часто среди них рассеяны обломки силикатных по-

род и минералов. В глинистых образованиях также много остатков раковин. Мощность вскрытого интервала 16.4 м (в том числе 11.8 м в составе артинского яруса, а 4.6 м – кунгурского). В формационном отношении описанный интервал относится к позднему флишу [Мизенс, 1997].

В 2016 г. после вскрытия новых интервалов в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино российскими геологами с участием В.И. Давыдова (США) проведено дополнительное их изучение, включая отбор проб и образцов на палеонтологические, литологические, геохимические, изотопные и геохронологические исследования [Kotlyar et al., 2016].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Содержание породообразующих окислов и некоторых других компонентов в породах пограничных (сакмарско-артинского и артинско-кунгурского) интервалов изучено по 15 образцам в разрезе Дальний Тюлькас и по 20 – в разрезе Мечетлино (табл. 1–4). Определение химического состава пород выполнено в лаборатории Казанского (Приволжского) университета с использованием волнодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия). Данный метод основан на сборе и последующем анализе спектра, полученного путем воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением. Полученные результаты позволили уточнить

Таблица 1. Петрографический состав проанализированных образцов

Table 1. Studied samples composition

| Разрез Мечетлино |            |                                  | Разрез Дальний Тюлькас |            |                               |
|------------------|------------|----------------------------------|------------------------|------------|-------------------------------|
| № обр.           | Ярус       | Порода                           | № обр.                 | Ярус       | Порода                        |
| 15               | Кунгурский | Песчаник                         | 11-2                   | Артинский  | Известняк микрозернистый      |
| 14               |            | Известняк песчанистый            | 11-1                   |            | Аргиллит с примесью карбоната |
| 13               |            | Песчаник известковый             | 10-1                   |            | Известняк микрозернистый      |
| 12-3             |            | Аргиллит с примесью кальцита     | 9-4                    |            | То же                         |
| 12-2             |            | То же                            | 9-2                    |            | Аргиллит с примесью карбоната |
| 12-1             |            | Известняк песчанистый            | 9-1                    |            | Известняк слабо глинистый     |
| 11               |            | Песчаник слабо известковый       | 7-4                    | Сакмарский | То же                         |
| 10-2             | Артинский  | Аргиллит с примесью кальцита     | 7-1                    |            | Известняк глинистый           |
| 10-1             |            | Известняк слабо песчанистый      | 6-2                    |            | Аргиллит с примесью карбоната |
| 9                |            | Аргиллит с примесью кальцита     | 5-3                    |            | Известняк слабо глинистый     |
| 8                |            | Известняк органогенно-детритовый | 4-3-1                  |            | Аргиллит с примесью карбоната |
| 7-3              |            | Аргиллит с примесью кальцита     | 4-3                    |            | То же                         |
| 7-2              |            | Известняк слабо песчанистый      | 3-3                    |            | —“—                           |
| 6-3              |            | Аргиллит с примесью кальцита     | 2-3                    |            | —“—                           |
| 6-2              |            | То же                            | 2-1                    |            | Аргиллит                      |
| 6-1              |            | Известняк органогенно-детритовый |                        |            |                               |
| 5-5              |            | Известняк песчанистый            |                        |            |                               |
| 5-3              |            | То же                            |                        |            |                               |
| 5-1              |            | Известняк слабо окремненный      |                        |            |                               |
| 1-2              |            | Известняк органогенно-детритовый |                        |            |                               |



**Таблица 2.** Содержание породообразующих компонентов в карбонатно-глинистых породах пограничного интервала сакмарского и артинского ярусов разреза Дальний Тюлькас, мас. %

**Table 2.** Major oxides contents in the carbonate-argillaceous rocks of the Sakmarian-Artinskian boundary interval in the Dal'ny Tulkas section, wt %

| № обр. | П. п. п. | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO    | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SrO   | BaO   | Сумма  |
|--------|----------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|--------|
| 2-1    | 11.087   | 0.507             | 2.796 | 10.828                         | 64.071           | 0.149                         | 0.149           | 2.395            | 0.870  | 0.531            | 0.035 | 6.316                          | 0.007 | 0.088 | 99.839 |
| 2-3    | 18.240   | 0.499             | 4.339 | 7.529                          | 52.358           | 0.205                         | 0.214           | 1.566            | 9.349  | 0.375            | 0.060 | 4.802                          | 0.013 | 0.162 | 99.711 |
| 3-3    | 19.731   | 0.447             | 4.783 | 6.530                          | 49.579           | 0.101                         | 0.240           | 1.359            | 12.158 | 0.319            | 0.073 | 4.320                          | 0.016 | 0.243 | 99.839 |
| 4-3    | 14.362   | 0.498             | 2.001 | 8.100                          | 55.680           | 0.125                         | 0.535           | 1.716            | 10.345 | 0.417            | 0.044 | 5.099                          | 0.029 | 0.924 | 99.875 |
| 4-3-1  | 20.928   | 0.394             | 5.390 | 5.340                          | 47.094           | 0.124                         | 0.355           | 1.057            | 14.571 | 0.264            | 0.092 | 3.825                          | 0.021 | 0.460 | 99.915 |
| 5-3    | 32.625   | 0.468             | 1.405 | 2.820                          | 11.573           | 0.062                         | 0.083           | 0.479            | 47.491 | 0.233            | 0.130 | 2.407                          | 0.096 | 0.055 | 99.927 |
| 6-2    | 25.159   | 0.361             | 4.639 | 5.458                          | 40.154           | 0.105                         | 0.194           | 1.130            | 18.354 | 0.266            | 0.107 | 3.938                          | 0.017 | 0.036 | 99.918 |
| 7-1    | 28.806   | 0.166             | 1.395 | 1.311                          | 32.711           | 0.231                         | 0.372           | 0.299            | 33.564 | 0.074            | 0.096 | 0.836                          | 0.030 | 0.063 | 99.954 |
| 7-4    | 38.208   | 0.080             | 0.952 | 0.603                          | 13.382           | 0.102                         | 0.340           | 0.135            | 45.537 | 0.038            | 0.122 | 0.439                          | 0.027 | —     | 99.964 |
| 9-1    | 36.216   | 0.089             | 1.227 | 0.997                          | 12.938           | 0.056                         | 0.275           | 0.249            | 45.362 | 0.056            | 0.144 | 1.866                          | 0.028 | 0.030 | 99.533 |
| 9-2    | 14.861   | 0.431             | 2.363 | 9.024                          | 55.189           | 0.152                         | 0.080           | 1.966            | 9.087  | 0.438            | 0.068 | 6.179                          | 0.011 | 0.010 | 99.859 |
| 9-4    | 37.628   | 0.324             | 1.262 | 1.592                          | 9.610            | 0.203                         | 0.553           | 0.292            | 46.892 | 0.095            | 0.358 | 1.113                          | 0.055 | —     | 99.983 |
| 10-1   | 37.623   | 0.265             | 1.035 | 1.197                          | 7.769            | 0.765                         | 0.864           | 0.218            | 48.292 | 0.073            | 0.615 | 1.178                          | 0.058 | —     | 99.952 |
| 11-1   | 14.752   | 1.140             | 3.123 | 12.429                         | 49.514           | 0.157                         | 0.062           | 2.331            | 8.832  | 0.642            | 0.075 | 6.760                          | 0.017 | 0.028 | 99.862 |
| 11-2   | 37.355   | 0.150             | 1.138 | 1.211                          | 10.662           | 0.118                         | 0.512           | 0.305            | 47.156 | 0.082            | 0.174 | 1.041                          | 0.043 | —     | 99.947 |

Примечание. Здесь и далее в таблицах прочерк — не обнаружено.

Note. Here and further in the tables a dash is not found.

**Таблица 3.** Содержание породообразующих компонентов в карбонатно-глинистых породах пограничного интервала артинского и кунгурского ярусов в разрезе Мечетлино, мас. %

**Table 3.** Major oxides contents in the carbonate-argillaceous rocks of the Artinskian-Kungurian boundary interval in the Mechetlino section, wt %

| № обр. | П. п. п. | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO    | TiO <sub>2</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SrO   | BaO   | Сумма   |
|--------|----------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|---------|
| 1-2    | 42.433   | 0.086             | 0.820 | 0.490                          | 3.189            | 0.105                         | 0.093           | 0.091            | 51.804 | 0.028            | 0.124 | 0.595                          | 0.100 | —     | 99.958  |
| 5-1    | 32.872   | 0.159             | 2.990 | 1.123                          | 24.425           | 0.060                         | 0.126           | 0.230            | 36.890 | 0.062            | 0.120 | 0.852                          | 0.086 | 0.034 | 100.029 |
| 5-3    | 32.625   | 0.468             | 1.405 | 2.820                          | 11.573           | 0.062                         | 0.083           | 0.480            | 47.491 | 0.234            | 0.130 | 2.407                          | 0.096 | 0.055 | 99.929  |
| 5-5    | 34.222   | 0.286             | 2.014 | 2.620                          | 12.560           | 0.057                         | 0.061           | 0.4120           | 43.709 | 0.208            | 0.135 | 3.513                          | 0.049 | —     | 99.846  |
| 6-1    | 41.814   | 0.094             | 0.750 | 0.429                          | 2.379            | 0.036                         | 0.191           | 0.066            | 52.981 | 0.027            | 0.137 | 0.784                          | 0.113 | 0.146 | 99.947  |
| 6-2    | 16.015   | 1.181             | 3.227 | 12.541                         | 45.667           | 0.171                         | 0.054           | 2.067            | 11.564 | 0.627            | 0.046 | 6.642                          | 0.038 | 0.041 | 99.883  |
| 6-3    | 13.786   | 1.204             | 3.158 | 13.678                         | 51.169           | 0.155                         | 0.053           | 2.380            | 7.464  | 0.643            | 0.031 | 6.071                          | 0.031 | 0.054 | 99.877  |
| 7-2    | 40.243   | 0.146             | 1.350 | 0.877                          | 4.350            | 0.050                         | 0.161           | 0.150            | 51.211 | 0.071            | 0.136 | 1.034                          | 0.127 | 0.042 | 99.948  |
| 7-3    | 13.775   | 1.159             | 3.059 | 13.641                         | 51.159           | 0.168                         | 0.043           | 2.386            | 7.602  | 0.642            | 0.029 | 6.154                          | 0.029 | 0.036 | 99.882  |
| 8      | 43.909   | 0.066             | 0.927 | 0.260                          | 1.614            | 0.041                         | 0.114           | 0.031            | 52.442 | 0.008            | 0.097 | 0.354                          | 0.094 | —     | 99.957  |
| 9      | 12.335   | 1.192             | 3.967 | 14.154                         | 50.634           | 0.148                         | 0.042           | 2.279            | 6.578  | 0.759            | 0.036 | 7.665                          | 0.026 | 0.044 | 99.859  |
| 10-1   | 42.944   | 0.082             | 1.664 | 0.424                          | 2.265            | 0.060                         | 0.109           | 0.074            | 51.402 | 0.028            | 0.150 | 0.670                          | 0.091 | —     | 99.963  |
| 10-2   | 13.624   | 1.205             | 3.442 | 13.008                         | 50.393           | 0.161                         | 0.048           | 2.265            | 9.101  | 0.617            | 0.033 | 5.905                          | 0.033 | 0.038 | 99.873  |
| 11     | 18.571   | 0.881             | 3.540 | 8.044                          | 35.265           | 0.091                         | 0.292           | 1.226            | 23.847 | 0.541            | 0.100 | 6.788                          | 0.074 | 0.509 | 99.769  |
| 12-1   | 33.611   | 0.419             | 1.414 | 2.881                          | 11.882           | 0.077                         | 0.087           | 0.201            | 46.035 | 0.210            | 0.165 | 2.588                          | 0.091 | —     | 99.942  |
| 12-2   | 12.637   | 1.377             | 3.910 | 12.755                         | 50.302           | 0.180                         | 0.049           | 2.101            | 8.479  | 0.661            | 0.035 | 7.281                          | 0.036 | 0.036 | 99.839  |
| 12-3   | 13.199   | 1.074             | 3.527 | 13.418                         | 51.400           | 0.182                         | 0.036           | 2.452            | 7.738  | 0.682            | 0.031 | 6.071                          | 0.031 | 0.029 | 99.870  |
| 13     | 22.696   | 1.094             | 2.433 | 6.896                          | 29.258           | 0.102                         | 0.054           | 0.985            | 31.036 | 0.474            | 0.133 | 4.668                          | 0.066 | 0.030 | 99.923  |
| 14     | 40.734   | 0.109             | 0.811 | 0.629                          | 5.202            | 0.056                         | 0.102           | 0.105            | 50.758 | 0.037            | 0.233 | 1.062                          | 0.121 | —     | 99.959  |
| 15     | 12.954   | 1.484             | 2.348 | 8.072                          | 50.884           | 0.149                         | 0.096           | 1.174            | 17.281 | 0.491            | 0.063 | 4.786                          | 0.061 | 0.087 | 99.930  |

**Таблица 4.** Средний химический состав основных типов пород в изученных разрезах, мас. %

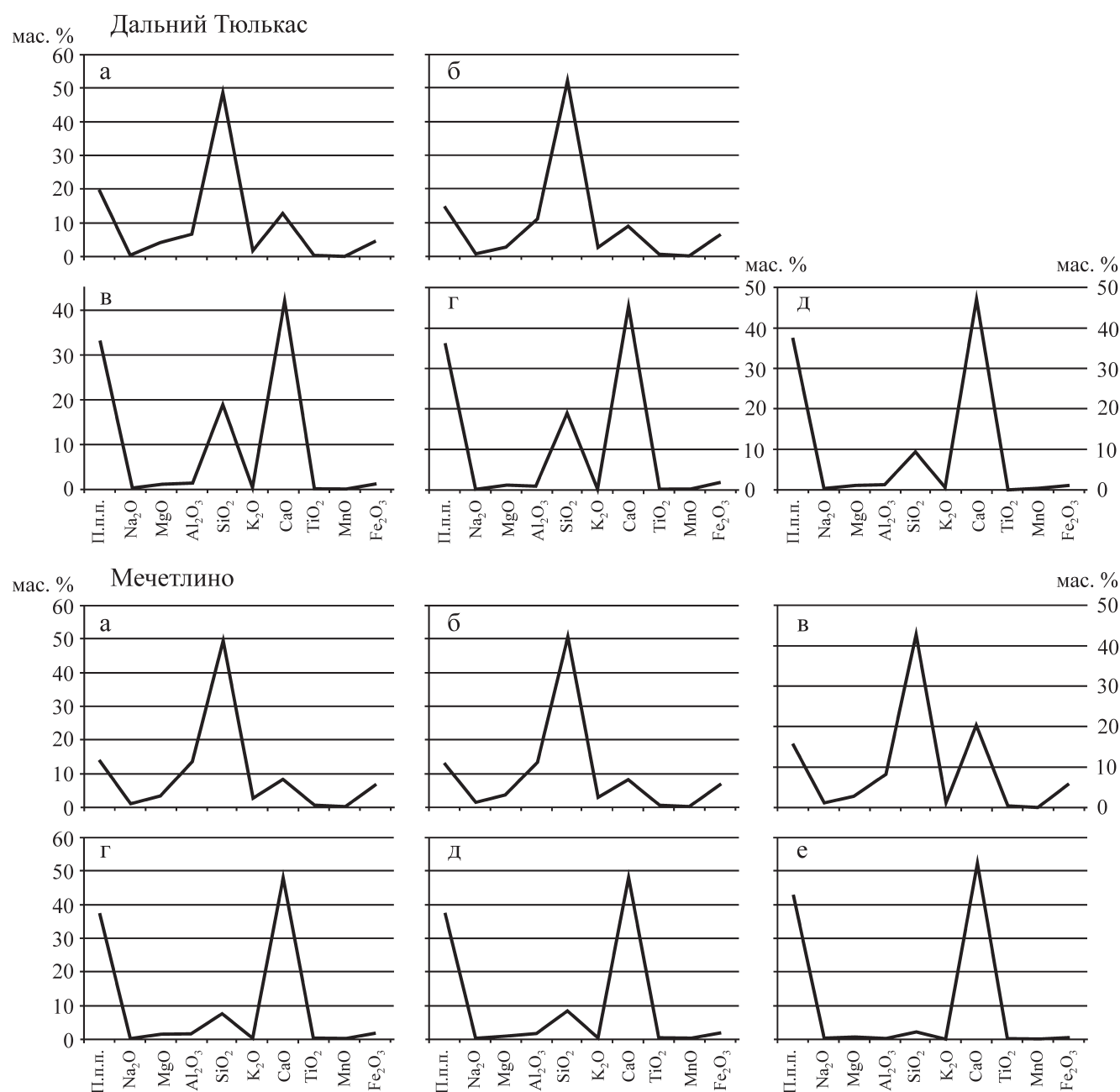
**Table 4.** Major oxides average contents for the studied sections, wt %

| Компонент  | Разрез Дальний Тюлькас |                             |                     |                                |                             |                     | Разрез Мечетлино    |                     |                             |                 |                      |          |       |       |
|--|------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|-----------------|----------------------|----------|-------|-------|
|  | Сакмарский ярус        |                             |                     | Артинский ярус                 |                             |                     | Артинский ярус      |                     |                             | Кунгурский ярус |                      |          |       |       |
|  | Аргиллит               | Карбонатно-глинистая порода | Известняк глинистый | Известняк микрокристаллический | Карбонатно-глинистая порода | Известняк глинистый | Известняк глинистый | Известняк глинистый | Карбонатно-глинистая порода | Известняк       | Песчаник известковый | Песчаник |       |       |
| SiO <sub>2</sub><br>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>TiO <sub>2</sub><br>Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>MnO<br>CaO<br>MgO<br>Na <sub>2</sub> O<br>K <sub>2</sub> O<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub><br>SrO<br>BaO<br>SO <sub>3</sub> | 64.07                  | 49.04                       | 32.71               | 12.48                          | 52.35                       | 12.24               | 9.35                | 24.43               | 2.76                        | 12.07           | 50.85                | 8.54     | 32.26 | 50.88 |
|  | 10.83                  | 6.60                        | 1.31                | 1.71                           | 10.72                       | 1.00                | 1.33                | 1.12                | 0.50                        | 2.72            | 13.08                | 1.76     | 7.47  | 8.07  |
|  | 0.53                   | 0.33                        | 0.07                | 0.14                           | 0.54                        | 0.06                | 0.08                | 0.06                | 0.03                        | 0.22            | 0.67                 | 0.12     | 0.51  | 0.49  |
|  | 6.32                   | 4.39                        | 0.84                | 1.42                           | 6.47                        | 1.87                | 1.11                | 0.85                | 0.69                        | 2.96            | 6.68                 | 1.82     | 5.73  | 4.79  |
|  | 0.04                   | 0.07                        | 0.10                | 0.13                           | 0.07                        | 0.14                | 0.38                | 0.12                | 0.13                        | 0.13            | 0.03                 | 0.20     | 0.12  | 0.06  |
|  | 0.87                   | 12.95                       | 33.56               | 46.51                          | 8.96                        | 45.36               | 47.45               | 36.89               | 51.97                       | 45.60           | 8.11                 | 48.40    | 27.44 | 17.28 |
|  | 2.80                   | 4.15                        | 1.40                | 1.18                           | 2.74                        | 1.23                | 1.15                | 2.90                | 1.10                        | 1.71            | 3.72                 | 1.11     | 2.99  | 2.35  |
|  | 0.51                   | 0.44                        | 0.17                | 0.27                           | 0.78                        | 0.09                | 0.25                | 0.16                | 0.09                        | 0.38            | 1.22                 | 0.26     | 0.99  | 1.48  |
|  | 2.39                   | 1.37                        | 0.30                | 0.31                           | 2.15                        | 0.25                | 0.27                | 0.23                | 0.08                        | 0.45            | 2.28                 | 0.29     | 1.11  | 1.17  |
|  | 0.15                   | 0.13                        | 0.23                | 0.08                           | 0.16                        | 0.06                | 0.36                | 0.16                | 0.06                        | 0.06            | 0.18                 | 0.07     | 0.10  | 0.15  |
|  | 0.01                   | 0.02                        | 0.03                | 0.06                           | 0.02                        | 0.28                | 0.05                | 0.03                | 0.09                        | 0.10            | 0.07                 | 0.05     | 0.11  | 0.07  |
|  | 0.09                   | 0.34                        | 0.06                | 0.03                           | 0.02                        | 0.03                | 0.09                | 0.04                | 0.03                        | 0.04            | 0.04                 | —        | 0.27  | 0.09  |
|  | 0.15                   | 0.31                        | 0.37                | 0.21                           | 0.07                        | 0.03                | 0.64                | 0.05                | 0.13                        | 0.07            | 0.04                 | 0.09     | 0.17  | 0.10  |
| П. п. п.   | 11.09                  | 19.68                       | 28.81               | 35.42                          | 14.80                       | 36.22               | 37.54               | 32.87               | 42.27                       | 33.42           | 12.92                | 37.17    | 20.63 | 12.95 |
| Кол.-во обр.   | 1                      | 5                           | 1                   | 2                              | 2                           | 1                   | 3                   | 1                   | 5                           | 2               | 2                    | 2        | 2     | 1     |

вещественный состав рассматриваемых отложений, а также получить некоторые сведения о среде и условиях осадконакопления.

В целом оба разреза (Дальний Тюлькас и Мечетлино) представлены несколькими типами пород, с различным химическим составом (см. табл. 1 и 4). Как уже было показано, для разреза Дальний Тюлькас наиболее характерны известковые аргиллиты, а также микрозернистые известняки, нередко с примазками и пленками глинистого вещества. Везде много органических компонентов, в том числе кремневых скелетов радиолярий. В разрезе Мечетлино распространены глинистые и песчаные породы, как правило в разной степени известковые, много также известняков, но, в отличие от Дальнего Тюлькаса, это чаще всего органогенно-детритовые разности с примесью силикатных песчаных зерен. Особенности химического состава наиболее представительных типов пород наглядно отражены на диаграммах (рис. 3). На них отчетливо видно, что аргиллиты разных стратиграфических уровней в рамках обоих разрезов характеризуются практически одинаковыми средними содержаниями основных пороодообразующих компонентов. Почти то же относится к известнякам. Только содержание  $\text{SiO}_2$  в разрезе Дальний Тюлькас несколько более высокое, что может быть связано как с примесью глинистого вещества, так и с присутствием кремневых скелетов радиолярий. Между тем у органогенно-детритовых известняков разреза Мечетлино содержания почти всех оксидов (за исключением  $\text{CaO}$ ) крайне низкие. Обращает на себя внимание также сходство диаграмм песчаников и глинистых пород в разрезе Мечетлино. Лишь содержание  $\text{CaO}$  более высокое у песчаников, что определяется присутствием вторичного (катагенетического) кальцита.

Соотношение карбонатных и силикатных минералов в составе проанализированных образцов отражает также корреляционные связи породообразующих оксидов (табл. 5, 6). Так, в разрезе Дальний Тюлькас наиболее показательными являются связи  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (значение коэффициента парной корреляции 0.99–0.98) с такими окислами, как  $\text{K}_2\text{O}$  (рис. 4),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ . Все они, очевидно, входят в состав глинистых минералов. Другие окислы, также имеющие сильную положительную связь с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –  $\text{CuO}$  (0.94),  $\text{NiO}$  (0.85),  $\text{SiO}_2$  (0.84),  $\text{ZrO}_2$  (0.83),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0.78),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.77), наряду с глинистыми, относятся еще и к другим минералам (сульфидам и, возможно, фосфатам). Связи  $\text{SiO}_2$  несколько менее выразительны, на что, скорее всего, влияет кремнистый состав радиоларий. Кремнезем связан с  $\text{NiO}$  (0.96),  $\text{CuO}$  (0.91),  $\text{K}_2\text{O}$  (0.89),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0.87),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.84),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0.80),  $\text{ZnO}$  (0.77),  $\text{TiO}_2$  (0.76), которые, вероятно, также относятся к глинистым минералам. Содержание  $\text{CaO}$ , по-видимому, определяется только содержанием кальцита. Наиболее су-



**Рис. 3.** Средние содержания породообразующих оксидов в основных типах пород.

Разрез Дальний Тюлькас: а, б – аргиллиты с примесью карбонатов (а – сакмарский, б – артинский ярусы); в, г – известняки глинистые (в – сакмарский, г – артинский ярусы); д – известняки (сакмарский и артинский ярусы).

Разрез Мечетлино: а, б – аргиллиты (а – артинский, б – кунгурский ярусы); в – песчаники (кунгурский ярус); г, д – известняки песчаные (г – артинский, д – кунгурский ярусы); е – известняки органогенно-детритовые (артинский ярус).

**Fig. 3.** Major oxides average contents.

Dal'ny Tulkas section: а, б – mudstone with some amount of carbonate (а – the Sakmarian stage, б – the Artinskian stage); в, г – clayey limestones (в – the Sakmarian stage, г – the Artinskian stage); д – limestones (the Sakmarian and Artinskian stages).

Mechetlino section: а, б – mudstones (а – the Artinskian stage, б – the Kungurian stage); в – sandstones (the Kungurian stage); г, д – sandy limestones (г – the Artinskian stage, д – the Kungurian stage); е – bioclastic limestones (the Artinskian stage).

щественная связь у него с потерями при прокаливании (0.96), вероятно состоящими главным образом из  $\text{CO}_2$ . Сильная связь у  $\text{CaO}$  также и с  $\text{MnO}$

(0.91),  $\text{Cl}$  (0.78),  $\text{SrO}$  (0.77), очевидно входящими в состав минерала кальцита. Между  $\text{SiO}_2$  и  $\text{CaO}$  почти линейная отрицательная связь (–0.99; см. рис. 4).

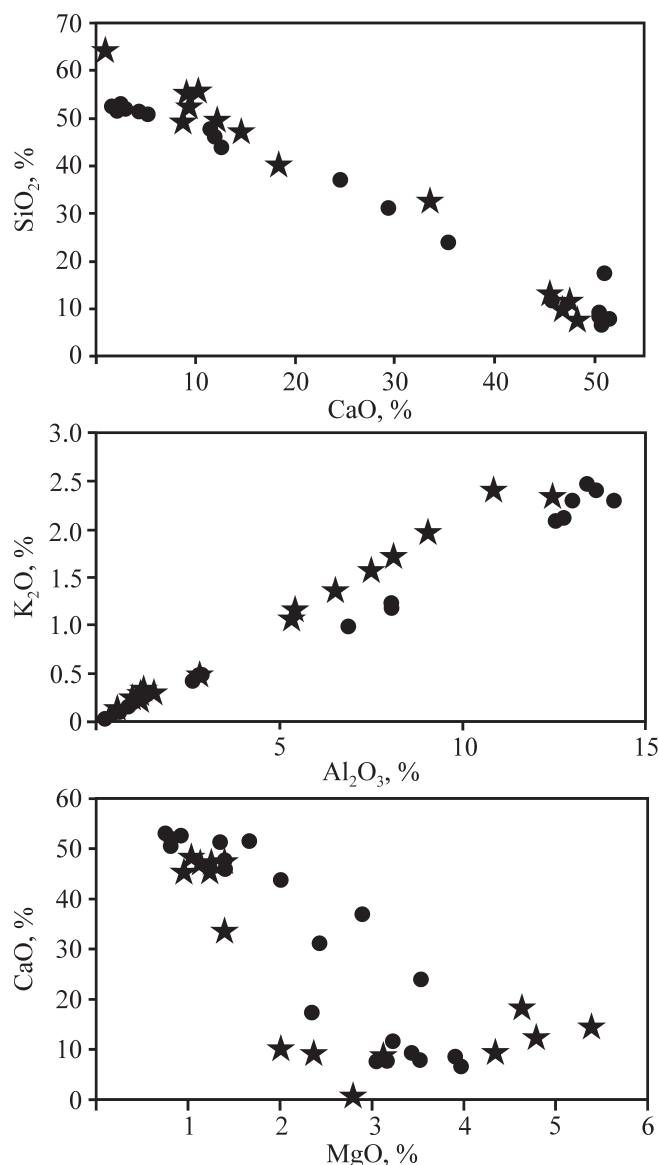


Таблица 5. Коэффициенты парной корреляции основных компонентов (разрез Дальний Тюлькас)  
Table 5. The pair correlation coefficients for the major oxides contents (Dal'ny Tulkas section)

| Компонент                      | П. п. п. | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | NiO   | CuO   | ZnO   | SrO   | ZrO <sub>2</sub> | BaO   |
|--------------------------------|----------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| П. п. п.                       | 1.00     | -0.56             | -0.29 | -0.93                          | -0.97            | -0.79                         | -0.04           | -0.95            | 0.96  | -0.88            | 0.64                           | 0.96  | -0.94                          | -0.95 | -0.98 | -0.72 | 0.61  | -0.62            | -0.30 |
| Na <sub>2</sub> O              | -0.56    | 1.00              | 0.10  | 0.78                           | 0.40             | 0.50                          | -0.36           | 0.68             | -0.46 | 0.85             | -0.52                          | -0.42 | 0.70                           | 0.41  | 0.63  | 0.04  | -0.09 | 0.73             | -0.05 |
| MgO                            | -0.29    | 0.10              | 1.00  | 0.18                           | 0.45             | 0.39                          | 0.10            | 0.16             | -0.51 | 0.09             | -0.48                          | -0.24 | 0.17                           | 0.41  | 0.17  | 0.16  | -0.48 | 0.01             | 0.08  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.93    | 0.78              | 0.18  | 1.00                           | 0.84             | 0.77                          | -0.23           | 0.99             | -0.86 | 0.98             | -0.58                          | -0.83 | 0.99                           | 0.85  | 0.94  | 0.54  | -0.54 | 0.83             | 0.05  |
| SiO <sub>2</sub>               | -0.97    | 0.40              | 0.45  | 0.84                           | 1.00             | 0.80                          | 0.13            | 0.89             | -0.99 | 0.76             | -0.60                          | -0.95 | 0.87                           | 0.96  | 0.91  | 0.77  | -0.74 | 0.50             | 0.31  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -0.79    | 0.50              | 0.39  | 0.77                           | 0.80             | 1.00                          | -0.11           | 0.77             | -0.82 | 0.72             | -0.52                          | -0.77 | 0.78                           | 0.79  | 0.72  | 0.39  | -0.60 | 0.60             | 0.05  |
| SO <sub>3</sub>                | -0.04    | -0.36             | 0.10  | -0.23                          | 0.13             | -0.11                         | 1.00            | -0.19            | -0.08 | -0.28            | 0.14                           | -0.17 | -0.22                          | -0.10 | 0.00  | 0.35  | -0.13 | -0.71            | 0.90  |
| K <sub>2</sub> O               | -0.95    | 0.68              | 0.16  | 0.99                           | 0.89             | 0.77                          | -0.19           | 1.00             | -0.89 | 0.96             | -0.55                          | -0.88 | 0.99                           | 0.90  | 0.96  | 0.63  | -0.59 | 0.81             | 0.07  |
| CaO                            | 0.96     | -0.46             | -0.51 | -0.86                          | -0.99            | -0.82                         | -0.08           | -0.89            | 1.00  | -0.78            | 0.60                           | 0.91  | -0.88                          | -0.96 | -0.89 | -0.72 | 0.77  | -0.55            | -0.25 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.88     | 0.85              | 0.09  | 0.98                           | 0.76             | 0.72                          | -0.28           | 0.96             | -0.78 | 1.00             | -0.62                          | -0.78 | 0.96                           | 0.78  | 0.92  | 0.46  | -0.39 | 0.85             | 0.04  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.64     | -0.52             | -0.48 | -0.58                          | -0.60            | -0.52                         | 0.14            | -0.55            | 0.60  | -0.62            | 1.00                           | 0.59  | -0.56                          | -0.65 | -0.64 | -0.22 | 0.03  | -0.41            | -0.21 |
| MnO                            | 0.96     | -0.42             | -0.24 | -0.83                          | -0.95            | -0.77                         | -0.17           | -0.88            | 0.91  | -0.78            | 0.59                           | 1.00  | -0.84                          | -0.91 | -0.95 | -0.83 | 0.57  | -0.48            | -0.40 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.94    | 0.70              | 0.17  | 0.99                           | 0.87             | 0.78                          | -0.22           | 0.99             | -0.88 | 0.96             | -0.56                          | -0.84 | 1.00                           | 0.89  | 0.94  | 0.55  | -0.59 | 0.82             | 0.04  |
| NiO                            | -0.95    | 0.41              | 0.41  | 0.85                           | 0.96             | 0.79                          | -0.10           | 0.90             | -0.96 | 0.78             | -0.65                          | -0.91 | 0.89                           | 1.00  | 0.90  | 0.71  | -0.67 | 0.63             | 0.11  |
| CuO                            | -0.98    | 0.63              | 0.17  | 0.94                           | 0.91             | 0.72                          | 0.00            | 0.96             | -0.89 | 0.92             | -0.64                          | -0.95 | 0.94                           | 0.90  | 1.00  | 0.71  | -0.49 | 0.65             | 0.30  |
| ZnO                            | -0.72    | 0.04              | 0.16  | 0.54                           | 0.77             | 0.39                          | 0.35            | 0.63             | -0.72 | 0.46             | -0.22                          | -0.83 | 0.55                           | 0.71  | 0.71  | 1.00  | -0.60 | 0.20             | 0.40  |
| SrO                            | 0.61     | -0.09             | -0.48 | -0.54                          | -0.74            | -0.60                         | -0.13           | -0.59            | 0.77  | -0.39            | 0.03                           | 0.57  | -0.59                          | -0.67 | -0.49 | -0.60 | 1.00  | -0.34            | -0.02 |
| ZrO <sub>2</sub>               | -0.62    | 0.73              | 0.01  | 0.83                           | 0.50             | 0.60                          | -0.71           | 0.81             | -0.55 | 0.85             | -0.41                          | -0.48 | 0.82                           | 0.63  | 0.65  | 0.20  | -0.34 | 1.00             | -0.49 |
| BaO                            | -0.30    | -0.05             | 0.08  | 0.05                           | 0.31             | 0.05                          | 0.90            | 0.07             | -0.25 | 0.04             | -0.21                          | -0.40 | 0.04                           | 0.11  | 0.30  | 0.40  | -0.02 | -0.49            | 1.00  |

Таблица 6. Коэффициенты парной корреляции основных компонентов (разрез Мечетлино)  
Table 6. The pair correlation coefficients for the major oxides contents (Mechetlino section)

| Компонент                      | П. п. п. | Na <sub>2</sub> O | MgO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO   | TiO <sub>2</sub> | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | NiO   | CuO   | ZnO   | SrO   | ZrO <sub>2</sub> | BaO   |
|--------------------------------|----------|-------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------|
| П. п. п.                       | 1.00     | -0.97             | -0.90 | -0.96                          | -0.99            | -0.90                         | 0.39            | -0.94            | 0.98  | -0.98            | -0.27                          | 0.83  | -0.95                          | -0.49 | -0.91 | -0.93 | 0.88  | -0.96            | -0.22 |
| Na <sub>2</sub> O              | -0.97    | 1.00              | 0.81  | 0.93                           | 0.95             | 0.90                          | -0.42           | 0.90             | -0.93 | 0.95             | 0.19                           | -0.79 | 0.93                           | 0.40  | 0.86  | 0.87  | -0.84 | 0.92             | 0.16  |
| MgO                            | -0.90    | 0.81              | 1.00  | 0.88                           | 0.90             | 0.78                          | -0.28           | 0.87             | -0.92 | 0.89             | 0.35                           | -0.79 | 0.89                           | 0.56  | 0.87  | 0.89  | -0.86 | 0.90             | 0.26  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.96    | 0.93              | 0.88  | 1.00                           | 0.96             | 0.93                          | -0.47           | 1.00             | -0.98 | 0.98             | 0.16                           | -0.87 | 0.95                           | 0.49  | 0.96  | 0.94  | -0.91 | 0.98             | 0.12  |
| SiO <sub>2</sub>               | -0.99    | 0.95              | 0.90  | 0.96                           | 1.00             | 0.92                          | -0.42           | 0.95             | -0.99 | 0.95             | 0.19                           | -0.86 | 0.92                           | 0.44  | 0.92  | 0.92  | -0.89 | 0.94             | 0.16  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | -0.90    | 0.90              | 0.78  | 0.93                           | 0.92             | 1.00                          | -0.56           | 0.93             | -0.93 | 0.90             | -0.00                          | -0.85 | 0.85                           | 0.32  | 0.93  | 0.87  | -0.86 | 0.91             | -0.03 |
| SO <sub>3</sub>                | 0.39     | -0.42             | -0.28 | -0.47                          | -0.42            | -0.56                         | 1.00            | -0.49            | 0.44  | -0.41            | 0.48                           | 0.40  | -0.33                          | -0.00 | -0.54 | -0.42 | 0.59  | -0.43            | 0.78  |
| K <sub>2</sub> O               | -0.94    | 0.90              | 0.87  | 1.00                           | 0.95             | 0.93                          | -0.49           | 1.00             | -0.98 | 0.97             | 0.12                           | -0.87 | -0.93                          | 0.47  | 0.97  | 0.93  | -0.91 | 0.98             | 0.08  |
| CaO                            | 0.98     | -0.93             | -0.92 | -0.98                          | -0.99            | -0.93                         | 0.44            | -0.98            | 1.00  | -0.97            | -0.17                          | 0.88  | -0.93                          | -0.47 | -0.95 | -0.93 | 0.92  | -0.96            | -0.14 |
| TiO <sub>2</sub>               | -0.98    | 0.95              | 0.89  | 0.98                           | 0.95             | 0.90                          | -0.41           | 0.97             | -0.97 | 1.00             | 0.28                           | -0.83 | 0.98                           | 0.53  | 0.94  | 0.94  | -0.90 | 0.99             | 0.20  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.27    | 0.19              | 0.35  | 0.16                           | 0.19             | -0.00                         | 0.48            | 0.12             | -0.17 | 0.28             | 1.00                           | -0.06 | 0.41                           | 0.79  | 0.12  | 0.24  | -0.21 | 0.26             | 0.79  |
| MnO                            | 0.83     | -0.79             | -0.79 | -0.87                          | -0.86            | -0.85                         | 0.40            | -0.87            | 0.88  | -0.83            | -0.06                          | 1.00  | -0.77                          | -0.36 | -0.83 | -0.74 | 0.85  | -0.83            | -0.07 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | -0.95    | 0.93              | 0.89  | 0.95                           | 0.92             | 0.85                          | -0.33           | 0.93             | -0.93 | 0.98             | 0.41                           | -0.77 | 1.00                           | 0.63  | 0.90  | 0.94  | -0.88 | 0.98             | 0.30  |
| NiO                            | -0.49    | 0.40              | 0.56  | 0.49                           | 0.44             | 0.32                          | -0.00           | 0.47             | -0.47 | 0.53             | 0.79                           | -0.36 | 0.63                           | 1.00  | 0.45  | 0.53  | -0.59 | 0.55             | 0.43  |
| CuO                            | -0.91    | 0.86              | 0.87  | 0.96                           | 0.92             | 0.93                          | -0.54           | 0.97             | -0.95 | 0.94             | 0.12                           | -0.83 | 0.90                           | 0.45  | 1.00  | 0.91  | -0.90 | 0.95             | 0.02  |
| ZnO                            | -0.93    | 0.87              | 0.89  | 0.94                           | 0.92             | 0.87                          | -0.42           | 0.93             | -0.93 | 0.94             | 0.24                           | -0.74 | 0.94                           | 0.53  | 0.91  | 1.00  | -0.85 | 0.95             | 0.16  |
| SrO                            | 0.88     | -0.84             | -0.86 | -0.91                          | -0.89            | -0.86                         | 0.59            | -0.91            | 0.92  | -0.90            | -0.21                          | 0.85  | -0.88                          | -0.59 | -0.90 | -0.85 | 1.00  | -0.91            | 0.02  |
| ZrO <sub>2</sub>               | -0.96    | 0.92              | 0.90  | 0.98                           | 0.94             | 0.91                          | -0.43           | 0.98             | -0.96 | 0.99             | 0.26                           | -0.83 | 0.98                           | 0.55  | 0.95  | 0.95  | -0.91 | 1.00             | 0.18  |
| BaO                            | -0.22    | 0.16              | 0.26  | 0.12                           | 0.16             | -0.03                         | 0.78            | 0.08             | -0.14 | 0.20             | 0.79                           | -0.07 | 0.30                           | 0.43  | 0.02  | 0.16  | 0.02  | 0.18             | 1.00  |



**Рис. 4.** Диаграммы CaO–SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–K<sub>2</sub>O, MgO–CaO для пород разрезов Дальний Тюлькас и Мечетлино.

Здесь и далее на рисунках: звездочка – образцы из разреза Дальний Тюлькас, точка – из Мечетлино.

**Fig. 4.** Diagram CaO–SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–K<sub>2</sub>O, MgO–CaO for the samples of Dal'ny Tulkas and Mechetlino sections.

Here and others: asterisks – the samples of Dal'ny Tulkas, the points – of Mechetlino sections

Оксид бария в основном относится к минералу бариту, у него высокая корреляционная связь с SO<sub>3</sub> (на уровне 0.90). Сульфидов (прежде всего пирита) в составе рассматриваемых пород, по-видимому, очень мало. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не коррелируется с SO<sub>3</sub> (–0.22). Роль доломита в целом также незначительная – корреляция MgO с CaO отрицательная (–0.51; см.

рис. 4). Очень слабая связь у MgO с SiO<sub>2</sub> (0.45), NiO (0.41) и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.39). Сильная отрицательная корреляция CaO, MnO, Cl и SrO с другими оксидами, по-видимому, свидетельствует об их разной генетической природе. Первые осаждались непосредственно из морских вод, вторые имеют терригенное происхождение.

В разрезе Мечетлино корреляционные связи почти идентичны таковым пород разреза Дальний Тюлькас. Глинозем здесь практически линейно коррелируется с K<sub>2</sub>O (см. рис. 4), TiO<sub>2</sub> и ZrO<sub>2</sub> (1.0–0.98). Несколько более слабые связи (0.93–0.96) у Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO, ZnO и MgO (0.88). Очень сильные отрицательные связи у Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с CaO, SrO, MnO (от –0.98 до –0.87). Корреляционные связи SiO<sub>2</sub> несколько отличаются от таковых в разрезе Дальний Тюлькас. Так, на уровне 0.96–0.90 этот оксид связан с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZnO, CuO, MgO. Таким образом, связи Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и SiO<sub>2</sub> близки, что, по-видимому, определяется силикатными составляющими – аргиллитами и песчаниками. Связи CaO почти такие же, как и в разрезе Дальний Тюлькас. Например, с компонентами минерала кальцита – сильные положительные с потерями при прокаливании (0.98), MnO (0.88), SrO (0.92). Доломит в породах этого разреза, по-видимому, отсутствует, так как между MgO и CaO связь очень сильная отрицательная (–0.92; см. рис. 4). Также отсутствуют железистые карбонаты, на что указывают сильные отрицательные связи Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с п.п.п. Оксид бария в разрезе Мечетлино, в отличие от разреза Дальний Тюлькас, входит, по-видимому, еще и в состав минералов ультраосновных пород, встречающихся в обломках песчаников. На это указывает корреляция BaO с Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.79) и NiO (0.43). В обоих разрезах несколько различаются связи оксидов щелочных металлов и TiO<sub>2</sub>. В разрезе Мечетлино у них имеются сильные связи с MgO (0.81–0.89), между тем как в разрезе Дальний Тюлькас они отсутствуют (0.09–0.16). Связи с P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у данных оксидов заметно слабее для разреза Дальний Тюлькас (0.5–0.77), в разрезе Мечетлино они на уровне 0.9–0.93. Для Na<sub>2</sub>O установлена отрицательная связь с CaO как в разрезе Дальний Тюлькас (–0.93), так и Мечетлино (–0.46). В разрезе Мечетлино практически нет связи щелочных металлов с Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.12–0.28), тогда как в разрезе Дальний Тюлькас она отрицательная (от –0.52 до –0.62). У Na<sub>2</sub>O слабая отрицательная связь с MnO (–0.42) в разрезе Дальний Тюлькас, а в разрезе Мечетлино она гораздо более сильная (–0.79). В изученных разрезах различаются связи щелочей с ZnO и SrO. Особенно это заметно для Na<sub>2</sub>O: в разрезе Дальний Тюлькас у него связь с ZnO отрицательная (0.04), в разрезе Мечетлино она очень сильная положительная (0.87). Такая же тенденция характерна для связи Na<sub>2</sub>O с SrO. Заметно различна и связь между K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O. В разрезе Дальний Тюлькас коэффициент

Таблица 7. Петрохимические модули карбонатно-глинистых пород разреза Дальний Тюлькас

Table 7. Petrochemical modules for the carbonate-argillaceous rocks of the Dal'ny Tulkas section

| № обр. | ФМ    | HKM   | TM    | ГМ    | AM    | ЖМ    | ЩМ    | НМ    | KM    | Порода               |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| 2-1    | 0.099 | 0.268 | 0.049 | 0.276 | 0.169 | 0.559 | 0.212 | 0.047 | 0.221 | Аргиллит             |
| 2-3    | 0.092 | 0.274 | 0.050 | 0.244 | 0.144 | 0.615 | 0.319 | 0.066 | 0.208 | Аргиллит известковый |
| 3-3    | 0.087 | 0.277 | 0.049 | 0.227 | 0.132 | 0.641 | 0.329 | 0.068 | 0.208 | То же                |
| 4-3    | 0.092 | 0.273 | 0.052 | 0.245 | 0.145 | 0.604 | 0.290 | 0.061 | 0.212 | —“—                  |
| 4-3-1  | 0.081 | 0.272 | 0.050 | 0.202 | 0.113 | 0.699 | 0.373 | 0.074 | 0.198 | —“—                  |
| 5-3    | 0.208 | 0.336 | 0.083 | 0.483 | 0.244 | 0.831 | 0.977 | 0.166 | 0.170 | Известняк глинистый  |
| 6-2    | 0.098 | 0.273 | 0.049 | 0.243 | 0.136 | 0.707 | 0.319 | 0.066 | 0.207 | Аргиллит известковый |
| 7-1    | 0.026 | 0.355 | 0.056 | 0.071 | 0.040 | 0.673 | 0.556 | 0.127 | 0.228 | Известняк глинистый  |
| 7-4    | 0.033 | 0.355 | 0.063 | 0.090 | 0.045 | 0.875 | 0.592 | 0.132 | 0.221 | То же                |
| 9-1    | 0.144 | 0.339 | 0.056 | 0.237 | 0.077 | 1.909 | 0.357 | 0.089 | 0.250 | —“—                  |
| 9-2    | 0.112 | 0.266 | 0.049 | 0.284 | 0.164 | 0.660 | 0.219 | 0.048 | 0.218 | Аргиллит известковый |
| 9-4    | 0.116 | 0.387 | 0.060 | 0.329 | 0.166 | 0.872 | 0.110 | 0.204 | 0.183 | Известняк            |
| 10-1   | 0.152 | 0.403 | 0.061 | 0.394 | 0.154 | 1.412 | 0.216 | 0.221 | 0.182 | —“—                  |
| 11-1   | 0.136 | 0.279 | 0.052 | 0.402 | 0.251 | 0.523 | 0.489 | 0.092 | 0.188 | Аргиллит известковый |
| 11-2   | 0.098 | 0.375 | 0.068 | 0.235 | 0.114 | 0.940 | 0.492 | 0.124 | 0.252 | Известняк            |

Примечание. Здесь и далее в таблицах расшифровку модулей см. в тексте.

Note. Here and further in the tables, the decoding of the modules is shown in the text.

корреляции между щелочными оксидами составляет 0.68, а в разрезе Мечетлино он повышается до 0.90, что, скорее всего, связано с наличием терригенных обломков в последнем.

Для интерпретации геохимических данных использованы также петрохимические модули, предложенные Я.Э. Юдовичем и М.П. Кетрис [2000]: гидролизатный (ГМ) =  $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_{3обш} + MnO)/SiO_2$ , алюмокремниевый (AM) =  $Al_2O_3/SiO_2$ , железный (ЖМ) =  $(Fe_2O_{3обш} + MnO)/(TiO_2 + Al_2O_3)$ , фемический (ФМ) =  $(Fe_2O_{3обш} + MnO + MgO)/SiO_2$ , титановый (ТМ) =  $TiO_2/Al_2O_3$ , нормированная щелочность (HKM) =  $(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$ , щелочный (ЩМ) =  $Na_2O/K_2O$ , натриевый (НМ) =  $Na_2O/Al_2O_3$ , калиевый (KM) =  $K_2O/Al_2O_3$ .

По величине ГМ породы разреза Дальний Тюлькас (табл. 7) относятся главным образом к классу силитов<sup>1</sup> (ГМ < 0.3), что связано, по-видимому, с присутствием большого количества кремневых раковин радиолярий и псевдосилитов с содержанием MgO 3.1–5.4%. Подобное количество магнезии, возможно, определяется наличием вторичного доломита. Только 4 образца могут быть отнесены к классу сиаллитов и сиферлитов (ГМ = 0.33–0.48, ЖМ = 0.83–1.41) – это известняки без радиолярий или с их очень небольшим количеством. В разрезе Мечетлино (табл. 8) значения ГМ более высокие, преимущественно 0.38–0.48. Содержания MgO здесь изменяются от менее 3% (что соответствует сиаллитам) до 3–4% (псевдосиаллиты). Лишь в двух случаях значения ГМ ниже (0.09 и 0.26) и в трех (в известняках) – несколько выше (0.52–0.56).

<sup>1</sup> Согласно классификации Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2000].

Согласно [Интерпретация..., 2001], величины 0.4–0.5 характерны для глинистых пород и некоторых основных граувакк, в том числе слагающих данный разрез. Величина ЖМ у глинистых разностей и песчаников в этом разрезе низкая – 0.4–0.5, в то время как у карбонатных пород она значительно выше (0.8–2.0), что отвечает уже типу сиферлитов.

По значению алюмокремниевого модуля (AM = 0.05–0.17) в разрезе Дальний Тюлькас все образцы, за исключением двух известняков, попадают в класс кремнистых пород [Интерпретация..., 2001]. Величина данного модуля в породах разреза Мечетлино составляет 0.12–0.28, что соответствует песчаникам (0.10–0.22) и глинистым породам (0.22–0.35). Только у одного образца это значение меньше.

Титановый модуль (ТМ) у карбонатно-глинистых пород разреза Дальний Тюлькас составляет 0.049–0.052. У относительно чистых карбонатов он выше: для пяти образцов ТМ составляет 0.056–0.063, у одного – 0.068, а еще у одного даже 0.083. По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2001], повышенные значения ТМ характерны для большинства карбонатных пород. Например, для карбонатных осадков I сейсмического слоя современных океанов это значение в среднем 0.059, а для карбонатно-глинистых – только 0.048. Указанные авторы предполагают, что такая ситуация может быть связана с присутствием части титана в карбонатной фазе. В разрезе Мечетлино величина ТМ приблизительно такая же – чаще всего 0.047–0.058 (преимущественно глинистые породы), у пяти образцов несколько больше – 0.060–0.068 (известняки и известковые песчаники), еще у четырех – 0.073–0.083 (известняки и песчаные известня-

**Таблица 8.** Петрохимические модули карбонатно-глинистых и песчаных пород разреза Мечетлино**Table 8.** Petrochemical modules for the carbonate-argillaceous rocks and sandstones of the Mechetlino section

| № обр. | ФМ    | НКМ   | ТМ    | ГМ    | АМ    | ЖМ    | ЩМ    | НМ    | КМ    | Порода                           |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|
| 1-2    | 0.483 | 0.361 | 0.057 | 0.388 | 0.154 | 1.388 | 0.945 | 0.175 | 0.186 | Известняк органогенно-детритовый |
| 5-1    | 0.159 | 0.346 | 0.055 | 0.088 | 0.046 | 0.820 | 0.691 | 0.142 | 0.205 | Известняк кремнистый             |
| 5-3    | 0.341 | 0.336 | 0.083 | 0.483 | 0.244 | 0.831 | 0.975 | 0.166 | 0.170 | Известняк песчаный               |
| 5-5    | 0.451 | 0.269 | 0.079 | 0.516 | 0.209 | 1.290 | 0.681 | 0.109 | 0.160 | То же                            |
| 6-1    | 0.703 | 0.372 | 0.063 | 0.580 | 0.181 | 2.020 | 1.424 | 0.219 | 0.153 | Известняк органогенно-детритовый |
| 6-2    | 0.217 | 0.259 | 0.050 | 0.435 | 0.274 | 0.508 | 0.571 | 0.094 | 0.165 | Аргиллит известковый             |
| 6-3    | 0.181 | 0.262 | 0.047 | 0.399 | 0.267 | 0.426 | 0.506 | 0.088 | 0.174 | То же                            |
| 7-2    | 0.579 | 0.337 | 0.081 | 0.487 | 0.202 | 1.234 | 0.973 | 0.166 | 0.171 | Известняк песчаный               |
| 7-3    | 0.181 | 0.260 | 0.047 | 0.400 | 0.267 | 0.433 | 0.486 | 0.085 | 0.175 | Аргиллит известковый             |
| 8      | 0.854 | 0.373 | 0.031 | 0.445 | 0.161 | 1.683 | 2.129 | 0.254 | 0.119 | Известняк органогенно-детритовый |
| 9      | 0.230 | 0.245 | 0.054 | 0.447 | 0.280 | 0.516 | 0.523 | 0.084 | 0.161 | Аргиллит известковый             |
| 10-1   | 1.097 | 0.368 | 0.066 | 0.562 | 0.187 | 1.814 | 1.108 | 0.193 | 0.175 | Известняк песчаный               |
| 10-2   | 0.186 | 0.267 | 0.047 | 0.388 | 0.258 | 0.436 | 0.532 | 0.093 | 0.174 | Аргиллит известковый             |
| 11     | 0.296 | 0.262 | 0.067 | 0.439 | 0.228 | 0.802 | 0.719 | 0.109 | 0.152 | Песчаник известковый             |
| 12-1   | 0.351 | 0.313 | 0.073 | 0.492 | 0.242 | 0.891 | 0.869 | 0.145 | 0.167 | Известняк песчаный               |
| 12-2   | 0.223 | 0.273 | 0.052 | 0.412 | 0.254 | 0.545 | 0.655 | 0.108 | 0.165 | Аргиллит известковый             |
| 12-3   | 0.187 | 0.263 | 0.051 | 0.393 | 0.261 | 0.433 | 0.438 | 0.080 | 0.183 | То же                            |
| 13     | 0.247 | 0.301 | 0.069 | 0.416 | 0.236 | 0.651 | 1.111 | 0.159 | 0.143 | Песчаник известковый             |
| 14     | 0.405 | 0.340 | 0.059 | 0.377 | 0.121 | 1.944 | 1.038 | 0.173 | 0.167 | Известняк песчаный               |
| 15     | 0.141 | 0.329 | 0.061 | 0.264 | 0.159 | 0.566 | 1.264 | 0.184 | 0.145 | Песчаник                         |

ки). Только один образец известняка (0.030) выпадает из этой закономерности. Относительно более низкие значения данного модуля у глинистых пород, по мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, закономерны. Причиной этого является сортировка материала в процессе осадконакопления, приводящая к частичному разделению титансодержащих тяжелых минералов и более легкого глинистого вещества (указанные авторы называют это закономерностью А.А. Мигдисова).

По значениям калиевого модуля (КМ) в разрезе Дальний Тюлькас (0.17–0.25) можно говорить о преобладании в породах гидрослюд и хлорита [Юдович, 1981]. Значения натриевого модуля (НМ) – 0.05–0.2 – указывают на терригенную природу рассматриваемых отложений [Интерпретация..., 2001]. В то же время пограничные значения – 0.047–0.074 (обр. 2-1, 2-3, 3-3, 4-3, 6-2, 9-2) – предполагают влияние кремнистой составляющей (очевидно, сказывается наличие кремнистых раковин радиолярий). В разрезе Мечетлино значения КМ почти такие же – в пределах 0.15–0.18, лишь у одного образца – 0.12 и еще у одного – 0.20. Значения НМ (0.08–0.25) тоже почти не отличаются от таковых разреза Дальний Тюлькас.

Интерес представляет также модуль общей нормативной щелочности (НКМ), который содержит информацию о соотношении полевых шпатов и слюд в породе [Юдович, Кетрис, 2000]: низкие значения НКМ у терригенных пород свидетельствуют о преобладании слюд, а высокие – по-

левых шпатов. Так, при НКМ более 0.31 в породе обязательно присутствует калиевый полевой шпат (или иной высококалиевый минерал, например гидрослюды). В нашем случае значения НКМ (0.27–0.40 – Дальний Тюлькас и 0.24–0.37 – Мечетлино) соответствуют нормально-щелочному классу [Интерпретация..., 2001]. Однако при этом обращает на себя внимание, что наиболее высокие значения НКМ (0.33–0.40) в обоих разрезах наблюдаются в известняках, что, по мнению Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис, возможно, если в карбонатах имеется примесь аутигенных полевых шпатов. В осадках I сейсмического слоя современных океанов величины НКМ составляют: для карбонатно-глинистых пород – 0.31, карбонатных – 0.41, кремнистых – 0.43 [Юдович, Кетрис, 2000].

По величине щелочного модуля (ЩМ) различаются глинистые ( $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ ) и обломочные ( $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ ) породы, за исключением некоторых калиевых аркозов и глинистых пород с преобладанием монтмориллонита [Юдович, Кетрис, 2000]. Для осадков I сейсмического слоя океанов характерны следующие средние значения: песчано-алевритовые породы – 0.73, глинистые – 0.74, карбонатно-глинистые – 0.80, карбонатные – 1.14, кремнистые – 1.23. В разрезе Дальний Тюлькас почти все значения ЩМ меньше (чаще всего 0.21–0.59; у одного образца известняка – 0.11, еще у одного – 0.98), что, по-видимому, связано с отсутствием обломочных компонентов. В разрезе Мечетлино, где в составе карбонатных и глинистых



пород присутствуют обломочные породы и обломочные зерна, упомянутые значения существенно более высокие: у аргиллитов – 0.44–0.57, у известняков и песчаников – 0.68–2.13). Согласно [Интерпретация..., 2001], высокие значения этого модуля свойственны для пород с натровым плагиоклазом, значительным количеством слюды и калиевых полевых шпатов.

Дополнительные характеристики рассматриваемых пород можно получить в результате анализа соотношения описанных модулей, в том числе их корреляционных связей. Однако они рассмотрены только для известняков и аргиллитов (табл. 9, рис. 5), поскольку песчаники присутствуют лишь в одном разрезе – в Мечетлино.

Из полученных данных следует, что в глинистых породах разреза Дальний Тюлькас имеются сходные связи у гидролизатного и алюмокремниевых модулей. В том числе линейная (1.00) между собой, близкая к линейной – с ФМ (0.98 и 0.95), сильная отрицательная – с ЖМ (–0.75 и –0.80). В известняках поведение указанных модулей несколько отличается, хотя наиболее сильные связи те же – между ГМ и АМ 0.96, с ФМ – соответственно 0.95 и 0.86. У ЖМ в аргиллитах связи только отрицательные, в известняках заметные связи данного модуля с другими отсутствуют. У ТМ в аргиллитах все связи слабые; из них наиболее заметные с ЩМ (0.59) и НМ (0.58). В известняках связи более сильные, в том числе с АМ и ЩМ (0.75), с ГМ (0.62). У щелочного и натриевого модулей в аргиллитах линейная связь между собой, почти линейная отрицательная (–0.99 и –0.98) у них с калиевым модулем и очень сильная связь также и с НКМ (0.85 и 0.87). В известняках ситуация другая. Здесь у ЩМ сильная

связь с титановым модулем (0.75) и такая же, но отрицательная (–0.73), с НКМ, а у натриевого модуля связь с НКМ положительная (0.73) и очень сильная отрицательная (–0.86) с КМ. У калиевого модуля в аргиллитах только отрицательные связи, в том числе почти линейные с ЩМ и НМ (–0.99 и –0.98), сильная (–0.78) с НКМ, в известняках тоже отрицательные, но несколько другие – с НМ (–0.86), с АМ (–0.76), с ГМ (–0.71). У фемического модуля связи в аргиллитах и в известняках сходные – наиболее выразительные с ГМ и АМ (соответственно 0.98 и 0.95 – в аргиллитах, 0.95 и 0.86 – в известняках).

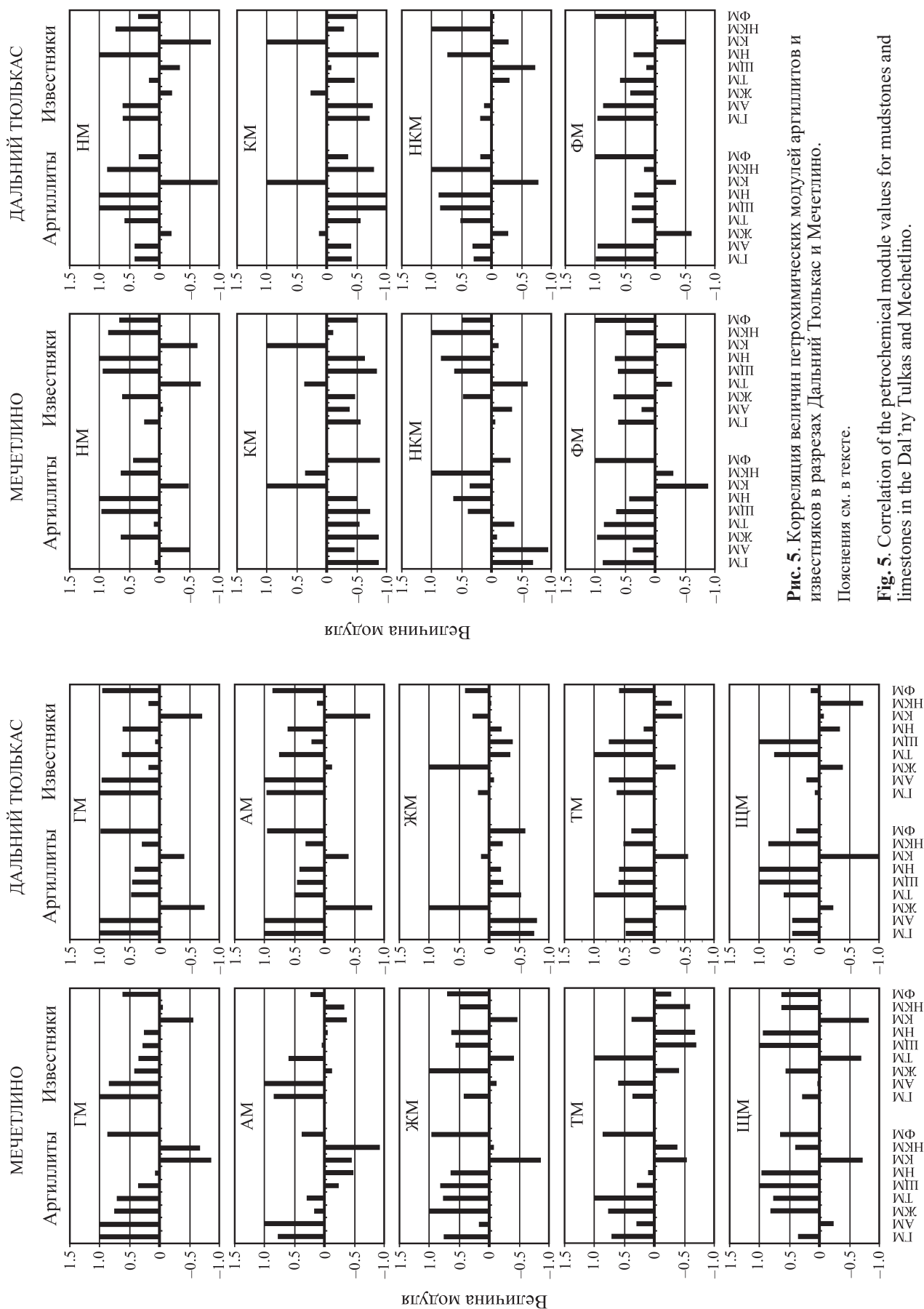
В разрезе Мечетлино взаимоотношения петрохимических модулей несколько другие. Так, в аргиллитах связи между модулями ГМ и АМ неоднозначные. Гидролизатный модуль коррелируется с фемическим (0.87), алюмокремниевым (0.77), железным (0.75), титановым (0.70), у него сильная отрицательная связь с КМ (–0.86) и НКМ (–0.68), а алюмокремниевый связан только с ГМ и имеет очень сильную отрицательную связь с НКМ (–0.94). В то же время в известняках гидролизатный модуль имеет довольно сильную связь с АМ (0.83) и менее сильную (0.61) с ФМ, а также отрицательную связь с КМ (–0.56). Алюмокремниевый модуль кроме связи с ГМ имеет невыразительную связь с ТМ (0.59). У железного модуля в аргиллитах связи многочисленные (как и у ГМ) – с ФМ (0.96), ЩМ (0.81), ТМ (0.76), ГМ (0.75), НМ (0.64) и сильная отрицательная с КМ (–0.86). В известняках у железного модуля, в отличие от разреза Дальний Тюлькас, связи относительно слабые – с ФМ (0.69), с НМ (0.62) и ЩМ (0.55). Титановый модуль в аргиллитах коррелируется с ФМ (0.85), ЖМ (0.76), ГМ (0.70), в известняках – с АМ (0.59). Кро-

Таблица 9. Корреляционные связи петрохимических модулей для изученных образцов

Table 9. Petrochemical module correlation relationships for the studied samples

| Разрез          | Модули | ГМ    | АМ    | ЖМ    | ТМ    | ЩМ    | НМ    | КМ    | НКМ   | ФМ    |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Дальний Тюлькас | ГМ     | 1.00  | 0.91  | 0.08  | 0.37  | 0.47  | 0.33  | –0.68 | 0.05  | 0.78  |
|                 | АМ     | 0.91  | 1.00  | –0.30 | 0.16  | 0.21  | 0.06  | –0.69 | –0.26 | 0.50  |
|                 | ЖМ     | 0.08  | –0.30 | 1.00  | 0.30  | 0.34  | 0.41  | 0.27  | 0.58  | 0.52  |
|                 | ТМ     | 0.37  | 0.16  | 0.30  | 1.00  | 0.67  | 0.69  | –0.20 | 0.66  | 0.52  |
|                 | ЩМ     | 0.47  | 0.21  | 0.34  | 0.67  | 1.00  | 0.98  | –0.58 | 0.81  | 0.71  |
|                 | НМ     | 0.33  | 0.06  | 0.41  | 0.69  | 0.98  | 1.00  | –0.42 | 0.90  | 0.64  |
|                 | КМ     | –0.68 | –0.69 | 0.27  | –0.20 | –0.58 | –0.42 | 1.00  | 0.01  | –0.53 |
|                 | НКМ    | 0.05  | –0.26 | 0.58  | 0.66  | 0.81  | 0.90  | 0.01  | 1.00  | 0.46  |
| Мечетлино       | ФМ     | 0.78  | 0.50  | 0.52  | 0.52  | 0.71  | 0.64  | –0.53 | 0.46  | 1.00  |
|                 | ГМ     | 1.0   | 0.50  | 0.39  | 0.34  | 0.20  | 0.16  | –0.38 | 0.04  | 0.58  |
|                 | АМ     | 0.50  | 1.00  | –0.58 | –0.02 | –0.47 | –0.61 | –0.14 | –0.74 | –0.29 |
|                 | ЖМ     | 0.39  | –0.58 | 1.00  | 0.18  | 0.67  | 0.78  | –0.21 | 0.78  | 0.84  |
|                 | ТМ     | 0.34  | –0.02 | 0.18  | 1.00  | –0.05 | 0.10  | 0.10  | 0.16  | 0.12  |
|                 | ЩМ     | 0.20  | –0.47 | 0.67  | –0.05 | 1.00  | 0.95  | –0.67 | 0.79  | 0.66  |
|                 | НМ     | 0.16  | –0.61 | 0.78  | 0.10  | 0.95  | 1.00  | –0.44 | 0.93  | 0.72  |
|                 | КМ     | –0.38 | –0.14 | –0.21 | 0.10  | –0.67 | –0.44 | 1.00  | –0.09 | –0.27 |
|                 | НКМ    | 0.04  | –0.74 | 0.78  | 0.16  | 0.79  | 0.93  | –0.09 | 1.00  | 0.69  |
|                 | ФМ     | 0.58  | –0.29 | 0.84  | 0.12  | 0.66  | 0.72  | –0.27 | 0.69  | 1.00  |





**Рис. 5.** Корреляция величин петрохимических модулей аргиллитов и известняков в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино.  
Пояснения см. в тексте.

**Fig. 5.** Correlation of the petrochemical module values for mudstones and limestones in the Dal'ny Tulkas and Mechetlino.  
Explanation see in the text.

ме того, в известняках у него отрицательные связи с ЩМ (–0.70), НМ (–0.68), НКМ (–0.60). В аргиллитах почти одинаковые связи у модулей щелочного и натриевого соответственно с ЖМ (0.81 и 0.64), ФМ (0.65 и 0.43), НКМ (0.39 и 0.64), КМ (–0.72 и –0.49). А между собой у них связь почти линейная (0.96). В известняках между модулями ЩМ и НМ также очень сильная связь (0.94). Оба эти модуля имеют заметные связи с НКМ (соответственно 0.62 и 0.84), ФМ (0.62 и 0.67), ЖМ (0.55 и 0.62) и достаточно сильные отрицательные связи с КМ (–0.83 и –0.63), ТМ (–0.70 и –0.68). Калиевый модуль как в аргиллитах, так и в известняках имеет только отрицательные связи: в аргиллитах наиболее сильные с ФМ (–0.88), ГМ и ЖМ (–0.86), ЩМ (–0.72), в известняках – с ЩМ (–0.83), НМ (–0.63), ГМ (–0.56). Скорее всего, такая ситуация связана со значительным преобладанием гидрослюд в среди глинистых минералов. В аргиллитах отрицательная корреляция преобладает и у модуля нормированной щелочности, в том числе с АМ (–0.94) и ГМ (–0.68), относительно сильная положительная связь у него с НМ (0.64). С последним нормированная щелочность связана и в известняках (0.84). Кроме того, у этого модуля положительная связь с ЩМ (0.62) и ФМ (0.50) и отрицательная с ТМ (–0.60). Фемический модуль в аргиллитах имеет многочисленные и очень сильные связи: с ЖМ (0.96), ГМ (0.87), ТМ (0.85), ЩМ (0.65), а также отрицательную с КМ (–0.88). В известняках эти связи заметно слабее: с ЖМ (0.69), НМ (0.67), ЩМ (0.62), ГМ (0.61) и отрицательная с КМ (–0.52).

#### ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА ГЛИНИСТЫХ ПОРОД

Общий состав аргиллитов в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино наглядно отражен на классификационной диаграмме М. Хиррона [Herron, 1988] –  $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ – $\lg(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$  (рис. 6а). Фигуративные точки рассматриваемых пород приурочены здесь главным образом к полям сланцев (Мечетлино, частично Дальний Тюлькас), вакк и литаренитов (Дальний Тюлькас). А для уточнения минерального состава этих отложений могут быть использованы диаграммы Я.Э. Юдовича [1981], Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2000] в координатах ФМ–НКМ и ТМ– $\text{TiO}_2$  (рис. 6б, в). На диаграмме ФМ–НКМ фигуративные точки аргиллитов разреза Мечетлино попадают в пограничную область полей II, III, V соответственно с преобладанием монтмориллонита, хлорита и хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистого состава. Точки аргиллитов разреза Дальний Тюлькас оказываются на границе полей II и V. На диаграмме ТМ– $\text{TiO}_2$  фигуративные точки аргиллитов из разреза Мечетлино попадают в поле 2 (существенно гидрослюдистые глины). Более сложная картина наблюдается для пород разре-

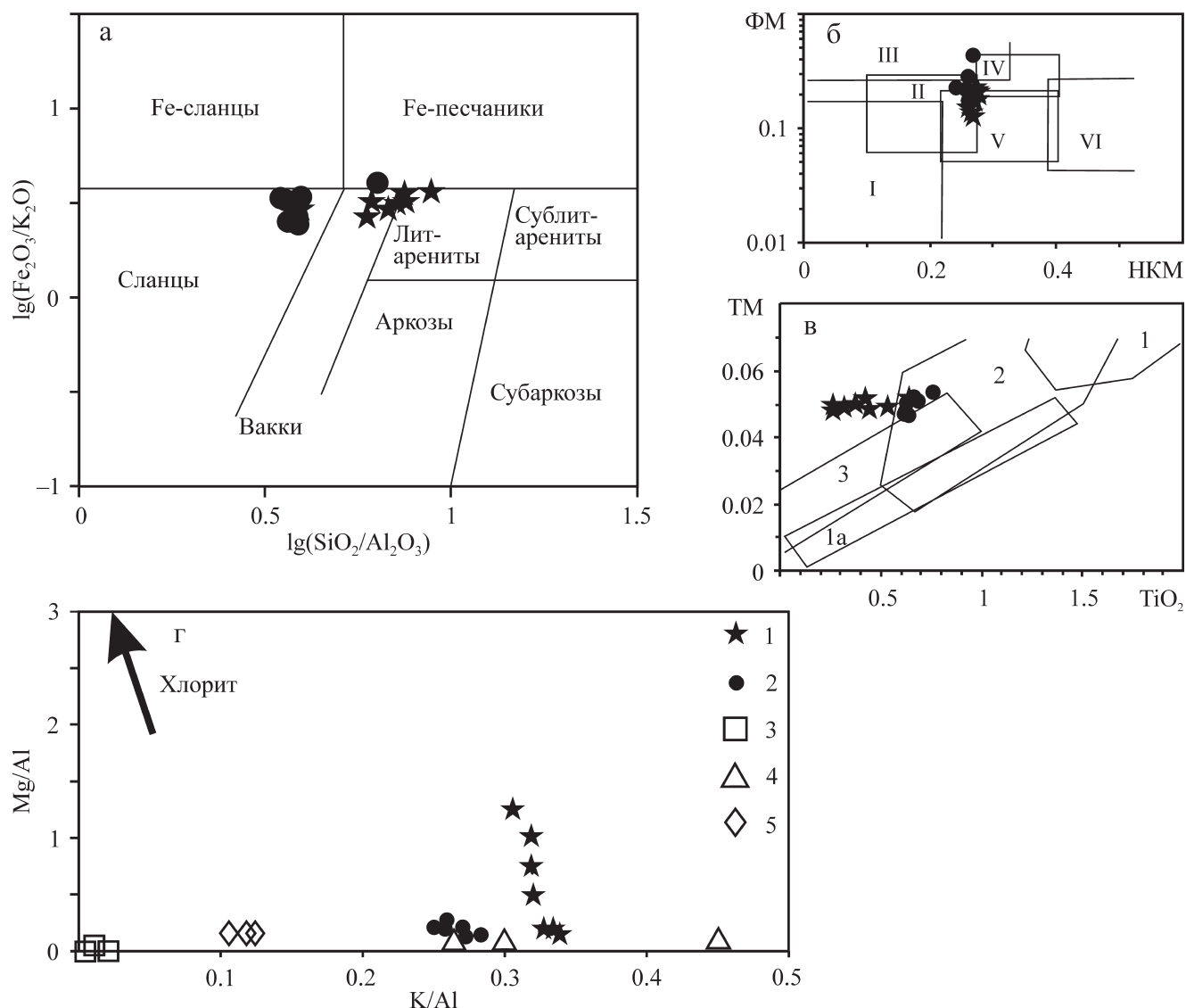
за Дальний Тюлькас. Только одна точка оказывается в поле 2, остальные сдвинуты влево и не попадают ни в одно поле. Возможно, подобная ситуация связана с присутствием в аргиллитах значительного количества вторичных карбонатов, предположительно превышающих величину ТМ примерно на 1/4 [Мизенс, Маслов, 2014; Маслов и др., 2015]. С такой поправкой все фигуративные точки аргиллитов обоих разрезов оказываются в пределах полей 2 и 3 (существенно гидрослюдистые и существенно смектитовые глины). Рассматриваемые глинистые породы весьма близки к типичным гидрослюдистым глинам также и по величине параметра  $\text{K}/\text{Al}$  – в среднем 0.27 (рис. 6г). Значения  $\text{Mg}/\text{Al}$  в некоторых образцах из разреза Дальний Тюлькас, однако, довольно высокие, что указывает на присутствие в составе аргиллитов некоторой доли хлорита [Turgeon, Brumsack, 2006].

Вывод о существенно гидрослюдистом составе глинистых минералов в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино можно сделать и на основании величины калиевого модуля и его взаимоотношений с другими модулями (см. выше). Этому соответствуют и результаты петрографического изучения шлифов.

#### СОСТАВ ПОРОД НА ПАЛЕОВОДОСБОРАХ

Проведенные ранее исследования петрографического состава нижнепермских песчаников южной части Предуральяского прогиба (с которыми ассоциируют рассматриваемые глинистые породы), показали, что они, как правило, являются граувакками (чаще всего собственно граувакками), по классификации В.Д. Шутова [Мизенс, 1997; и др.]. Среди обломков пород в них присутствуют различные осадочные и метаморфические образования, основные и кислые магматические породы, серпентиниты. Цементом обычно является кальцит, количество которого в ряде случаев достигает 25–30% от объема породы. С такой характеристикой песчаников согласуются и полученные данные по разрезу Мечетлино, где глинистые и карбонатные породы чередуются с псаммитами, а их образование происходило за счет разрушения палеозойского Уральского орогена [Мизенс, Маслов, 2015; Маслов и др., 2015].

Анализ полученных данных по глинистым породам из разрезов Дальний Тюлькас и Мечетлино подтверждает, что они сформированы за счет разрушения пород складчато-надвигового пояса. Тектоническую обстановку, в которой формировались породы, слагающие источники сноса, в частности, позволяет оценить диаграмма  $\text{SiO}_2$ – $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986]. Фигуративные точки аргиллитов из рассматриваемых разрезов на данной диаграмме в основном сосредоточены в поле океанической островной дуги (рис. 7а). Однако, как уже



**Рис. 6.** Положение фигуративных точек состава глинистых пород разрезов Дальний Тюлькас и Мечетлино на геохимических диаграммах: а – [Herron, 1988]; б, в – [Юдович, Кетрис, 2000]; г – [Turgeon, Brumsack, 2006].

б – глинистые породы: I – с преобладанием каолинита, II – с преобладанием монтмориллонита и подчиненным количеством каолинита и гидрослюда, III – с доминированием хлорита и примесью Fe-гидрослюда, IV – преимущественно хлорит-гидрослюдистого состава, V – хлорит-монтмориллонит-гидрослюдистого состава, VI – гидрослюдистые с той или иной примесью тонкодисперсного полевого шпата;

в – глинистые породы: 1 – каолинитовые, 1а – низкомодульные каолинитовые – продукты катагенетических преобразований смектитового или каолинитового субстрата, 2 – существенно гидрослюдистые, 3 – существенно смектитовые;

г – глинистые породы: 1, 2 – аргиллиты из разрезов Дальний Тюлькас (1) и Мечетлино (2); 3–5 – различные типы глин, по [Головенко, 1977]: 3 – каолинитовые, 4 – гидрослюдистые, 5 – монтмориллонитовые.

**Fig. 6.** The figurative points of the composition of argillaceous rocks of the Dal'ny Tulkas and Mechetlino sections on geochemical diagrams: а – [Herron, 1988]; б, в – [Yudovich, Ketris, 2000]; г – [Turgeon, Brumsack, 2006].

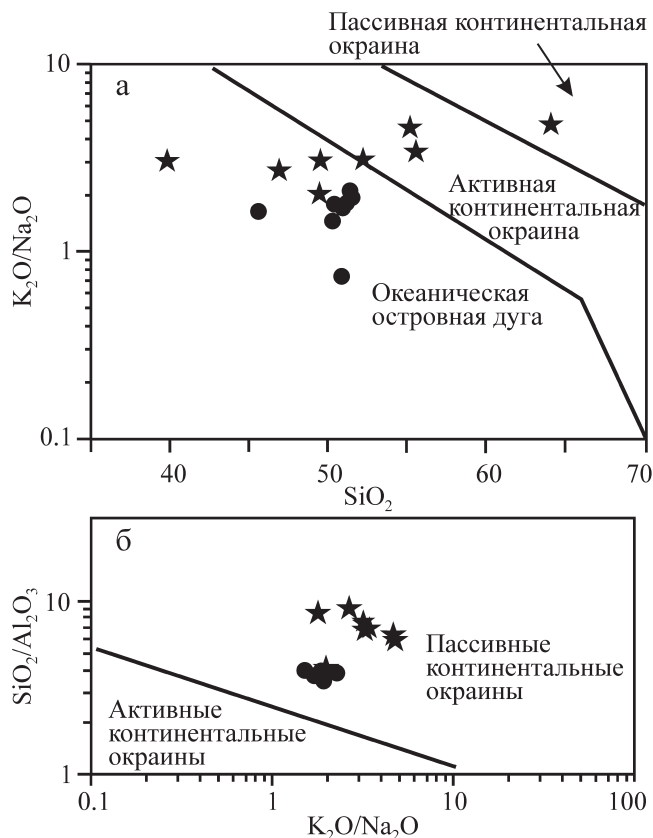
б – argillaceous rock: I – kaolinite domination, II – smectite domination with subordinate amount of kaolinite and illite, III – chlorite domination maybe some amount of Fe-illite, IV – chlorite-illite domination, V – chlorite-smectite-illite composition, VI – illite domination with various amount of fine-grained feldspar;

в – argillaceous rock: 1 – kaolinite, 1a – result of smectite or kaolinite substrate transformation (catagenetic), 2 – illite, 3 – smectite;

г – argillaceous rock: 1, 2 – mudstone from sections of the Dal'ny Tulkas (1) and Mechetlino (2); 3–5 – types of clay, after [Golovenko, 1977]: 3 – kaolinite, 4 – illite, 5 – smectite.

было отмечено выше при характеристике титанового модуля, на положение этих точек могли по-

влиять вторичные карбонаты, количество которых в изученных разрезах достигает 20–25% и бо-



**Рис. 7.** Положение фигуративных точек состава глинистых пород из разрезов Дальний Тюлькас и Мечетлино на диаграммах  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] (а) и  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  [Maynard et al., 1982] (б).

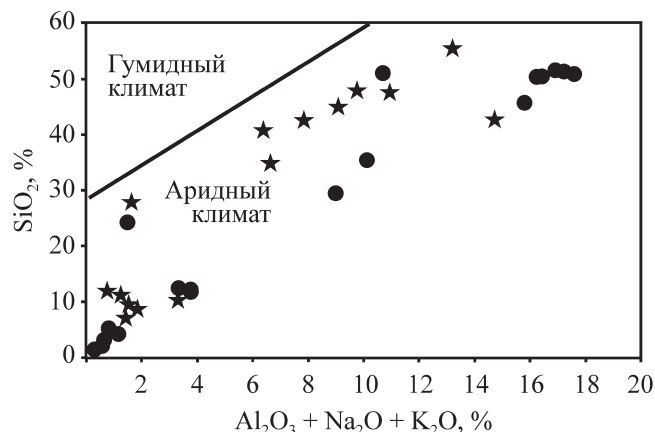
**Fig. 7.** Composition of Dal'ny Tulkas and Mechetlino clay rocks in diagrams  $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O/Na}_2\text{O}$  [Roser, Korsch, 1986] (a) and  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  [Maynard et al., 1982] (b).

лее. Если эту ситуацию иметь ввиду [Маслов и др., 2015], то фигуративные точки окажутся главным образом в поле активной (частично пассивной) континентальной окраины. Другую тектоническую позицию рассматриваемые аргиллиты занимают на диаграмме  $\text{K}_2\text{O/Na}_2\text{O--SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 7б), где все фигуративные точки оказываются в поле пассивной окраины<sup>2</sup>.

Обстановку на территории палеоводосбора характеризуют, в частности, индексы химического выветривания. Результаты их расчетов свидетельствуют о слабом выветривании в области сноса (либо об отсутствии такового). Так, величина индекса CIA [Nesbitt, Young, 1982]<sup>3</sup>, рассчитанного по

<sup>2</sup> Граница, разделяющая поля пассивных и активных континентальных окраин, показана в соответствии с представлениями [Roser, Korsch, 1986].

<sup>3</sup> В отличие от литохимических модулей рассчитывается по молекулярным количествам петрогенных оксидов.



**Рис. 8.** Климат в раннепермскую эпоху по литохимическим параметрам. Положение фигуративных точек пород (разрезы Дальний Тюлькас и Мечетлино) на диаграмме  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{--SiO}_2$  [Suttner, Dutta, 1986].

**Fig. 8.** Early Permian climate by the lithochemical parameters. Composition of Dal'ny Tulkas and Mechetlino clay rocks in diagram  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$  [Suttner, Dutta, 1986].

формуле  $(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}))100$ , в глинистых породах из обоих разрезов (Дальний Тюлькас и Мечетлино) оказалась меньше 70: в аргиллитах на р. Дальний Тюлькас (с большим количеством карбонатного вещества) эти значения составляют от 16 до 38, лишь в одном случае – в чистом аргиллите – 68, а в Мечетлино, где в аргиллитах также присутствует кальцит – 33–46. Аналогичные результаты были получены с использованием индекса CIW –  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})100$  [Harpais, 1988]. Здесь их значения составляют соответственно 16–41 (один образец – 82) и 35–50. Климат во время формирования упомянутых отложений, несомненно, был аридным. Это наглядно подтверждает также диаграмма  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  (рис. 8).

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разрезы Дальний Тюлькас и Мечетлино сложены несколькими типами пород, среди которых преобладают известковые аргиллиты (в Дальнем Тюлькасе с примесью доломита) и известняки (как микрозернистые, так и органогенно-детритовые). Характерно, что аргиллиты разных стратиграфических уровней в обоих разрезах имеют практически одинаковые средние содержания основных породообразующих компонентов. Известняки, однако, различаются, в том числе по содержанию  $\text{SiO}_2$ . Так, в разрезе Дальний Тюлькас оно несколько более высокое, что может быть связано с присутствием кремневых скелетов радиолярий. У органогенно-

детритовых известняков разреза Мечетлино содержания почти всех оксидов (в том числе и  $\text{SiO}_2$ ) крайне низкие. Обращает на себя внимание также сходство химического состава песчаников и глинистых пород в разрезе Мечетлино. Лишь содержание  $\text{CaO}$  более высокое у песчаников, что определяется присутствием вторичного кальцита.

Корреляционные связи основных породообразующих оксидов в обоих разрезах отличаются незначительно, следовательно, соотношения карбонатных, силикатных, сульфидных и сульфатных минералов в составе проанализированных образцов сходные. Некоторые особенности обусловлены присутствием кремнистых скелетов радиолярий в породах разреза Дальний Тюлькас и наличием обломочных пород и их компонентов в разрезе Мечетлино. Сильная отрицательная корреляция  $\text{CaO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Cl}$  и  $\text{SrO}$  с другими оксидами, очевидно, свидетельствует об их разной генетической природе. Первые осаждались непосредственно из морской воды, вторые имеют терригенное происхождение.

Для интерпретации геохимических данных использованы петрохимические модули, анализ поведения которых позволил сделать некоторые выводы. По величине гидролизатного модуля (ГМ) породы разреза Дальний Тюлькас относятся главным образом к классу силитов и псевдосилитов. В разрезе Мечетлино значения ГМ в основном более высокие, что отвечает сиаллитам и псевдосиаллитам. По значению алюмокремниевого модуля (АМ) почти все образцы из разреза Дальний Тюлькас попадают в класс кремнистых пород. Величина его в породах разреза Мечетлино соответствует классам песчаников и глинистых образований. По величине ЖМ карбонатные породы разреза Дальний Тюлькас (как и некоторые образцы из разреза Мечетлино) отвечают классу сиферлитов. При этом следует иметь в виду, что высокие значения ЖМ могут быть связаны с примесью вулканогенного материала [Юдович, Кетрис, 2000]. Величина титанового модуля (ТМ) в породах обоих разрезов соответствует карбонатным и карбонатно-глинистым осадкам I сейсмического слоя современных океанов. Предполагается [Юдович, Кетрис, 2000], что высокие значения ТМ могут быть связаны с присутствием части титана в карбонатной фазе. Относительно более низкие значения данного модуля у глинистых пород, возможно, связаны с сортировкой материала в процессе осадконакопления (закономерность А.А. Мигдисова). Низкие значения щелочного модуля (ЩМ) в разрезе Дальний Тюлькас, по-видимому, связаны с отсутствием в породах обломочных компонентов, в то время как в разрезе Мечетлино, где эти компоненты присутствуют, упомянутые значения существенно более высокие. По величине калиевого модуля (КМ) в отложениях обоих разрезов преобладают гидрослюды и

хлорит [Юдович, 1981]. Значения натриевого модуля (НМ) указывают на терригенную природу отложений. Наиболее высокие значения (0.33–0.40) модуля нормированной щелочности (НКМ) в обоих разрезах наблюдается у известняков, что, возможно, указывает на примесь в карбонатах аутигенных полевых шпатов. По величине фемического модуля (ФМ) породы разреза Дальний Тюлькас относятся к сиаллитам, соответствующим карбонатно-глинистым и кремнистым осадкам I сейсмического слоя океанов. Большинство образцов карбонатных пород разреза Мечетлино представляет собой сиферлиты с очень высокими значениями ФМ (0.4–0.8 и даже 1.1).

Корреляционные связи петрохимических модулей часто существенно различаются в породах отдельных разрезов, а также в породах разного петрографического состава. Связи гидролизатного и алюмокремниевого модулей в разрезе Дальний Тюлькас в аргиллитах и в известняках практически одинаковые, а в разрезе Мечетлино эти различия уже существенные, что позволяет предполагать разный состав пород. Характерно, что у железного модуля в аргиллитах разреза Дальний Тюлькас связи только отрицательные, а в известняках заметных связей у этого модуля вообще нет. В то же время в аргиллитах разреза Мечетлино связи у ЖМ многочисленные (как и у ГМ). В известняках у железного модуля, в отличие от таковых из разреза Дальний Тюлькас, некоторые связи имеются, но относительно слабые. Отрицательными являются практически все связи у калиевого модуля – как в известняках, так и в аргиллитах, причем в обоих разрезах. Но по величине они различаются. Все связи титанового модуля в аргиллитах разреза Дальний Тюлькас слабые. Между тем в известняках некоторые из них относительно сильные – с ЩМ, АМ, ГМ. Титановый модуль в аргиллитах Мечетлино коррелируется с ФМ, ЖМ, ГМ, для известняков характерны отрицательные связи с модулями щелочных металлов. У щелочного и натриевого модулей имеется линейная связь в аргиллитах разреза Дальний Тюлькас, почти линейная, но отрицательная у них, с калиевым модулем, очень сильная связь у них также и с НКМ. В известняках ситуация другая. Фемический модуль в аргиллитах имеет многочисленные и очень сильные связи – с ЖМ, ГМ, ТМ, ЩМ, а также отрицательную с КМ. В известняках они заметно слабее. Характерно, что корреляционные связи в разрезе Мечетлино (как в аргиллитах, так и в известняках) похожи на связи железного модуля, в то время как в Дальнем Тюлькасе они существенно различаются.

Минеральный состав глинистых пород в разрезах Дальний Тюлькас и Мечетлино несколько различается, но во всех случаях преобладают гидрослюды. Подчиненное значение имеют монтмориллониты и хлориты.



Состав размываемых пород на палеоводосборах имел близкие характеристики, хотя в том и в другом случае (в сакмарско-артинское и артинско-кунгурское время) там были распространены отложения пассивной и активной континентальной окраины. Размыв шел интенсивно, в условиях аридного климата при слабом выветривании.

Таким образом, основные литохимические характеристики пород двух рассматриваемых разрезов в целом несколько различаются. В то же время границы стратиграфических подразделений в пределах каждого из них по литохимическим параметрам практически не выделяются, что может свидетельствовать в пользу непрерывности осадконакопления на границах веков приуральской эпохи в данном регионе. Условия осадконакопления и характер размываемых пород в области сноса оставались относительно постоянными. Это, в свою очередь, является положительным моментом при рассмотрении разрезов в качестве эталонных объектов – “золотых гвоздей”.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-05-00306а) и за счет средств субсидий, выделенных Казанскому (Приволжскому) федеральному университету в рамках государственной поддержки в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров и для выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Головенок В.К. (1977) Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 267 с.
- Интерпретация геохимических данных. (2001) (Отв. ред. Е.В. Скляров). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Маслов А.В., Мизенс Г.А., Бадида Л.В., Крупенин М.Т., Вовна Г.М., Киселев В.И., Ронкин Ю.Л. (2015) Литогеохимия терригенных ассоциаций южных впадин Предуральского прогиба. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 308 с.
- Мизенс Г.А. (1997) Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 230 с.
- Мизенс Г.А., Маслов А.В. (2014) Глинистые породы молассовой формации южноуральского сегмента Предуральского прогиба: литогеохимия, состав пород источников сноса и палеотектонические реконструкции. *Геохимия*, **11**, 1025-1042.
- Мизенс Г.А., Маслов А.В. (2015) Песчаники молассовой формации южной части Предуральского прогиба. *Литология и полезн. ископаемые*, **5**, 459-485.
- Тевелев Ал.В., Тевелев Арк.В., Прудников И.А., Хотылев А.О., Барабошкин Е.Е., Попов С.С. (2016) Структурные парагенезы флишевых комплексов в центральной части Предуральского краевого прогиба. *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геол.*, **4**, 60-66.
- Чувашов Б.И., Дюпина Г.В., Мизенс Г.А., Черных В.В. (1990) Опорные разрезы верхнего карбона и нижней

перми западного склона Урала и Приуралья. Свердловск: УрО АН СССР, 402 с.

Чувашов Б.И., Черных В.В. (2011) Разрез Мечетлино (Южный Урал) – потенциальный лимитотип нижней границы кунгурского яруса. *Докл. АН*, **441**(5), 657-660.

Юдович Я.Э. (1981) Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 276 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.

Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Henderson C.M., Shen S., Schmitz M.D., Sungatullina G.M., Sungatullin R.Kh., Barrick J.E., Shilovsky O.P. (2015) Southern Urals. Deep water successions of the Carboniferous and Permian. A Field Guidebook of XVIII International Congress on Carboniferous and Permian. Kazan: Academy of Sciences, Republic of Tatarstan Press. 88 p.

Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Schmitz M.D. (2012) Mechetlino Section: A candidate for the Global Stratotype and Point (GSSP) of the Kungurian stage (Cisuralian, Lower Permian). *Permophiles*, **56**, 21-34.

Chuvashov B.I., Chernykh V.V., Shen S., Henderson C.M. (2013) Proposal for the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base-Artinskian stage (Lower Permian). *Permophiles*, **58**, 26-34.

Harnois L. (1988). The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sediment. Geol.*, **55**, 319-322.

Herron M.M. (1988) Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *J. Sediment. Petrol.*, **58**, 820-829.

Kotlyar G., Sungatullina G., Sungatullin R. (2016) GSSPs for the Permian Cisuralian Series stages. *Permophiles. Newsletter of SCPS*, **63**, 32-37.

Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. (1982) Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin. *J. Geol. Soc. Amer. Spec. Publ.*, **10**, 551-561.

Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717.

Roser B.D., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suite using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *J. Geol.*, **94**, 635-650.

Suttner L.J., Dutta P.K. (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *J. Sediment. Petrol.*, **56**, 329-345.

Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, **234**, 321-339.

## REFERENCES

- Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Henderson C.M., Shen S., Schmitz M.D., Sungatullina G.M., Sungatullin R.Kh., Barrick J.E., Shilovsky O.P. (2015) Southern Urals. Deep water successions of the Carboniferous and Permian. A Field Guidebook of XVIII International Congress on Carboniferous and Permian. Kazan, Academy of Sciences of Republic of Tatarstan Press. 88 p.

- Chernykh V.V., Chuvashov B.I., Davydov V.I., Schmitz M.D. (2012) Mechetlino Section: A candidate for the Global Stratotype and Point (GSSP) of the Kungurian Stage (Cisuralian, Lower Permian). *Permophiles*, **56**, 21-34.
- Chuvashov B.I., Chernykh V.V. (2011) The Mechetlino section (South Ural): A potential limitotype of the Artinskian-Kungurian stage boundary. *Dokl. Akad. Nauk*, **441**(5), 657-660. (In Russian)
- Chuvashov B.I., Chernykh V.V., Shen S., Henderson C.M. (2013) Proposal for the Global Stratotype Section and Point (GSSP) for the base Artinskian Stage (Lower Permian). *Permophiles*, **58**, 26-34.
- Chuvashov B.I., Dyupina G.V., Mizens G.A., Chernykh V.V. (1990) *Opornye razrezy verkhnego karbona i nizhnei permi zapadnogo sklona Urala i Priural'ya* [Support sections of the Upper Carboniferous and Lower Permian of the Western Urals and the Cisuralian]. Sverdlovsk, UrO Akad. Nauk SSSR, 402 p. (In Russian)
- Golovenok V.K. (1977) *Vysokoglinozemistye formatsii dokembriya* [High-Aluminous Precambrian Formations]. Leningrad, Nedra Publ., 140 p. (In Russian)
- Harnois L. (1988) The CIW index: A new chemical index of weathering. *Sediment. Geol.*, **55**, 319-322.
- Herron M.M. (1988) Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from Core or Log Data. *J. Sediment. Petrol.*, **58**, 820-829.
- Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh [Interpretation of geochemical data]. (2001) (Ed. E.V. Sklyarov). Moscow, Internet Engineering Publ., 288 p. (In Russian)
- Kotlyar G., Sungatullina G., Sungatullin R. (2016) GSSPs for the Permian Cisuralian Series stages. *Permophiles Newsletter of SCPS*, **63**, 32-37.
- Maslov A.V., Mizens G.A., Badida L.V., Krupenin M.T., Vovna G.M., Kiselev V.I., Ronkin Yu.L. (2015) *Litogeokhimiya terrigennykh assotsiatsii yuzhnykh vpadin Predural'skogo progiba* [Lithogeochemistry of terrigenous associations of the southern basins of the Western Urals foredeep]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN. 308 p. (In Russian)
- Maynard J.B., Valloni R., Ho Shing Ju. (1982) Composition of modern deep-sea sands from arc-related basin. *J. Geol. Soc. Amer. Spec. Publ.*, **10**, 551-561.
- Mizens G.A. (1997) *Verkhnepaleozoiskii flysh Zapadnogo Urala* [Upper Paleozoic flysch of the Western Urals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 230 p. (In Russian)
- Mizens G.A., Maslov A.V. (2014) Pelitic rocks from the molasse formation of the Southern Ural segment of the West Uralian foredeep: Lithogeochemistry, provenance composition, and paleotectonic reconstructions. *Geokhimiya*, **11**, 1025-1042. (In Russian)
- Mizens G.A., Maslov A.V. (2015) Sandstones from the molasse formation in the southern part of the Uralian foredeep. *Litol. Polezn. Iskop.*, **5**, 459-485. (In Russian)
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, **299**, 715-717.
- Roser B.D., Korsch R.J. (1986) Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suite using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio. *J. Geol.*, **94**, 635-650.
- Suttner L.J., Dutta P.K. (1986) Alluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *J. Sediment. Petrol.*, **56**, 329-345.
- Tevelev A.I., Tevelev Ark.V., Prudnikov I.A., Khotylev A.O., Baraboshkin E.E., Popov S.S. (2016) Structural parageneses of flysch complexes in the central part of the Uralian Foreland basin. *Vestn. Moscow State Univers. Geol.*, **3**, 11-16. (In Russian)
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, **234**, 321-339.
- Yudovich Ya.E. (1981) *Regional'naya geokhimiya osadochnykh tolshch* [Regional geochemistry of sedimentary strata]. Leningrad, Nauka Publ., 276 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry]. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russian)