



УДК 552.513:552.23

ПЕТРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД НИЖНЕЙ ЧАСТИ КАРАГАССКОЙ СЕРИИ НЕОПРОТЕРОЗОЯ БИРЮСИНСКОГО ПРИСАЯНЬЯ© З.Л. Мотова¹, Д.П. Гладкочуб², А.М. Станевич³, Т.В. Донская⁴, Т.А. Корнилова⁵,
А.М. Мазукабзов⁶Институт земной коры СО РАН,
664033, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Представлены результаты петрографических и литохимических исследований терригенных и терригенно-карбонатных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии Бирюсинского Присяянья. Выделены четыре группы пород: кварцевые песчаники, аркозовые песчаники, аркозовые алевропесчаники и карбонатные песчаники, которые встречаются в обеих свитах. Особых петрографических и литохимических отличий между терригенными отложениями шангулежской и тагульской свит не отмечено. На основании полученных данных, а также учитывая результаты работ Ю.К. Советова по ипситской свите карагасской серии, предлагается рассматривать карагасскую серию только в составе шангулежской и тагульской свит.

Ключевые слова: терригенные породы; карагасская серия; неопротерозой; Бирюсинское Присяянье; Сибирский кратон.

PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CLASTIC ROCKS OF LOWER KARAGAS GROUP NEOPROTEROZOIC OF THE BIRYUSA SAYAN REGION

Z.L. Motova, D.P. Gladkochub, A.M. Stanevich, T.V. Donskaya, T.A. Kornilova, A.M. Mazukabzov

Institute of the Earth's Crust SB RAS,
128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

The results of petrographic and lithochemical studies of terrigenous and clastic-carbonate rocks of the Shangulezhskaya and Tagulskaya formations of the Karagas group of the Biryusa Sayan region are presented. Four groups of rocks are distinguished: quartz sandstones, arkose sandstones, arkose aleuritic sandstones and carbonate sandstones that occur in both formations. It is noted that there is no any special petrographic and lithochemical differences between the terrigenous deposits of the Shangulezhskaya and Tagulskaya formations. Based on the obtained data and taking into account the results of Yu.K. Sovetov's researches of the Ipsitskaya suite of the Karagas group, it is proposed to consider the Karagas group as a part of the Shangulezhskaya and Tagulskaya formations only.

Keywords: clastic rocks; Karagas group; Neoproterozoic; Biryusa Sayan region; Siberian craton.

Карагасская серия была впервые выделена в позднекембрийском разрезе Бирюсинского Присяянья А.С. Хоментовским [14]. Терригенно-карбонатные отложения карагасской серии являются одними из наиболее мощных позднепротерозойских толщ регио-

на (рис. 1). В составе карагасской серии традиционно выделяются три свиты (снизу вверх): шангулежская, тагульская (или изанская) и ипситская [1, 13, 16, 17] (рис. 2). Согласно современным представлениям, осадконакопление карагасской серии проходило во

¹Мотова Зинаида Леонидовна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории палеогеодинамики, тел.: 89149017874, e-mail: motova@crust.irk.ru

Motova Zinaida, Postgraduate, Junior Researcher of the Paleogeodynamics Laboratory, tel.: 89149017874, e-mail: motova@crust.irk.ru

²Гладкочуб Дмитрий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, директор, зав. лабораторией палеогеодинамики, тел.: (3952) 424474, e-mail: gladkochub@mail.ru

Gladkochub Dmitry, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Director, Head of the Paleogeodynamics Laboratory, tel.: (3952) 424474, fax: (3952) 427000, e-mail: gladkochub@mail.ru

³Станевич Аркадий Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии нефти и газа, тел.: (3952) 424758, e-mail: stan@crust.irk.ru

Stanevich Arkady, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Oil and Gas Geology, tel.: (3952) 424758, e-mail: stan@crust.irk.ru

⁴Донская Татьяна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории палеогеодинамики, тел.: 89025133751, e-mail: tanlen@crust.irk.ru

Donskaya Tatiana, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Senior Researcher of the Paleogeodynamics Laboratory, tel.: 89025133751, e-mail: tanlen@crust.irk.ru

⁵Корнилова Татьяна Александровна, главный специалист лаборатории геологии нефти и газа, тел.: 89832441913, e-mail: polinchik-05@mail.ru

Kornilova Tatiana, Chief Specialist of the Laboratory of Oil and Gas Geology, tel.: 89832441913, e-mail: polinchik-05@mail.ru

⁶Мазукабзов Анатолий Муталибович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеогеодинамики, тел.: 89149380275, e-mail: mazuk@crust.irk.ru

Mazukabzov Anatoly, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Chief Researcher of the Paleogeodynamics Laboratory, tel.: 89149380275, e-mail: mazuk@crust.irk.ru



внутриконтинентальных условиях [18]. В процессе многолетних исследований [1, 2 и др.] менялись представления о возрасте рассматриваемых пород. На многочисленных стратиграфических схемах [1, 9, 11, 13, 15, 17] отложения карагасской серии выделяют как единый крупный седиментационный цикл и помещают на различные возрастные уровни в диапазоне 850–600 млн лет. В настоящее время появились новые данные, свидетельствующие о существенных различиях между свитами, объединенными в состав карагасской серии. В частности, Ю.К. Советовым [12] было показано, что отложения ипситской свиты с глубоким размывом залегают на нижележащих отложениях тагульской свиты. Было установлено, что состав алевролитов и алевропесчаников ипситской свиты существенно отличается от нижележащих отложений тагульской и шангулежской свит. Отложения последних

двух свит, судя по данным ряда исследователей [1, 9, 11, 13, 15, 17], образовались в мелководных морских условиях, а большинство пород ипситской свиты формировались в результате штормовой переработки материала эолового происхождения [12]. Приведенные выше аргументы свидетельствуют о том, что осадочные толщи, относимые к единой карагасской серии, не являются формационно идентичными. Эти же наблюдения позволяют ставить вопрос о пересмотре существующих представлений о природе и истории формирования карагасской серии. В статье приводятся результаты петрографического и литохимического изучения пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии, а также некоторые соображения по возможному пересмотру традиционных представлений о ее внутреннем строении.

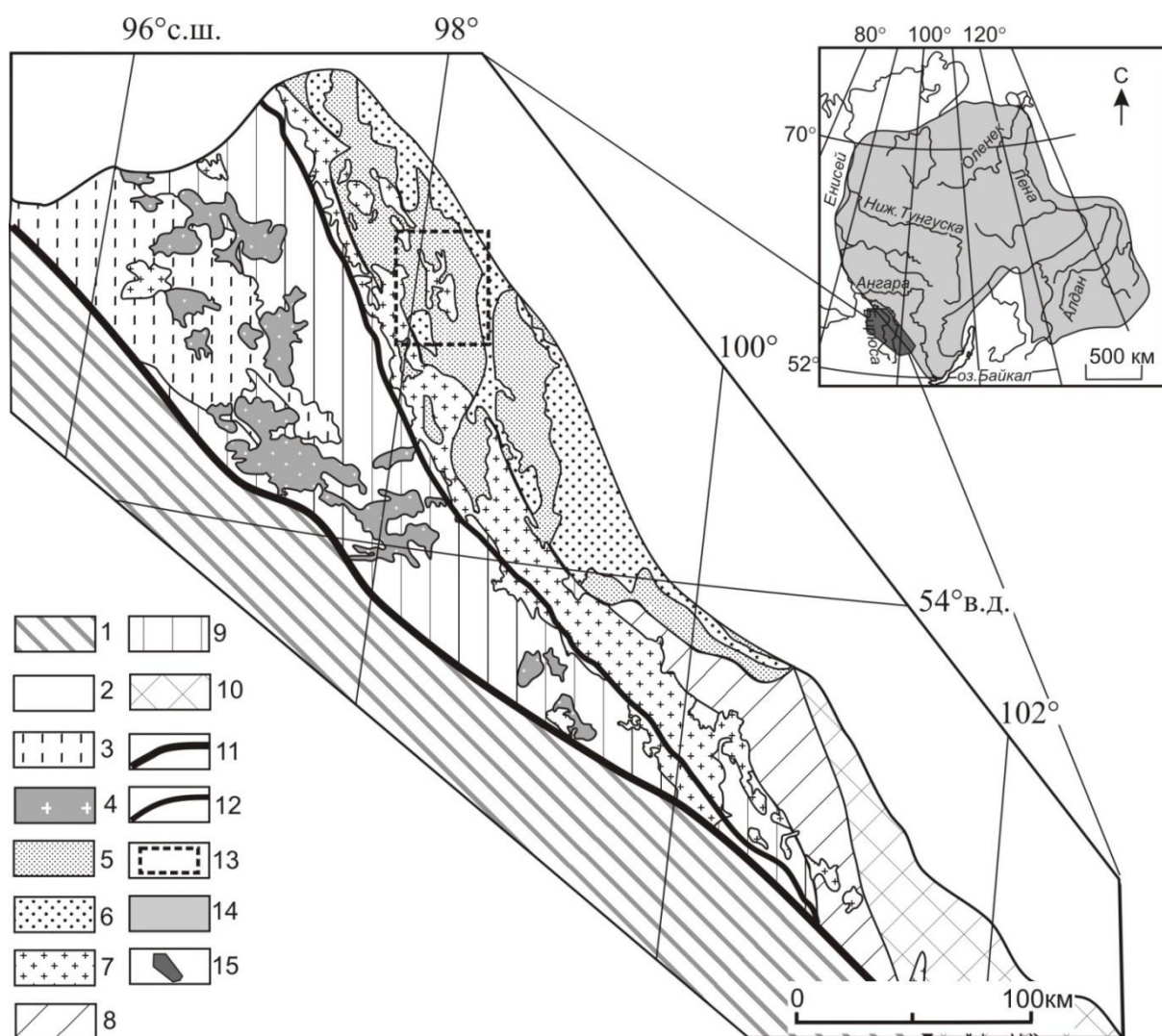


Рис. 1. Геологическая схема Бирюсинского Присяянья (по [2, 3]):

- 1 – Центрально-Азиатский складчатый пояс; 2 – фанерозойские образования чехла Сибирской платформы;
 - 3 – девонские вулканогенно-осадочные породы наложенных впадин; 4 – палеозойские гранитоиды;
 - 5 – терригенно-осадочные отложения оселковой серии; 6 – терригенно-осадочные отложения карагасской серии;
 - 7 – раннепротерозойские постколлизийные гранитоиды; 8 – раннепротерозойские образования Урикско-Ийского блока фундамента Сибирского кратона; 9 – раннепротерозойские-архейские образования Бирюсинского блока фундамента Сибирского кратона; 10 – архейские образования Шарыжгалгайского выступа фундамента Сибирского кратона; 11 – Главный Саянский разлом; 12 – Бирюсинский разлом; 13 – участок детальных работ.
- На врезке показаны контуры Сибирской платформы и район исследований

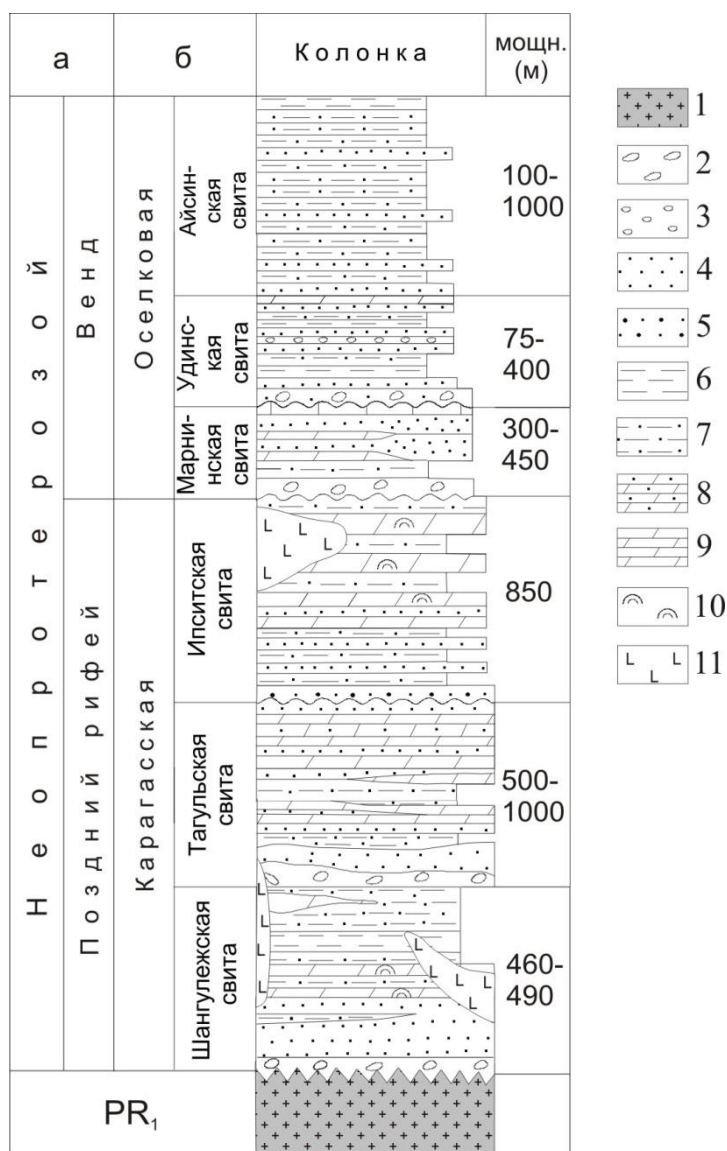


Рис. 2. Литологическая колонка докембрийских образований Бирюсинского Присянья [модифицирована после 1, 9]: а – общая хроностратиграфическая шкала; б – серии и свиты: 1 – архейско-раннепротерозойский фундамент Сибирского кратона; 2 – конгломераты; 3 – мелкогалечные конгломераты и гравелиты; 4 – песчаники; 5 – кремнистые алевролиты и песчаники; 6 – аргиллиты; 7 – алевролиты; 8 – песчанистые доломиты; 9 – доломиты; 10 – строматолиты и микрофитоциты; 11 – долериты и габбро-долериты

Краткий геологический очерк

Неопротерозойские терригенные отложения карагасской серии широко распространены в Присянском краевом прогибе юго-западной окраины Сибирского кратона. Осадочные толщи карагасской серии с угловым несогласием перекрывают ранне-докембрийские образования фундамента кратона [1, 9, 11 и др.]. В современном плане отложения карагасской серии имеют блоковое строение с небольшим смещением блоков относительно друг друга [18] (рис. 1.). Нижняя шангулежская свита карагасской серии с горизонтом конгломератов в основании сложена преимущественно полевошпат-кварцевыми песчаниками с линзами гравелитов, конгломератов и алевролитов. Выше по разрезу этой свиты залегают доломиты микрофитолитовые и строматолитовые, доломиты в переслаивании с алевролитами, аргиллитами и кремнистыми породами.

Отложения тагульской свиты с небольшим размывом залегают на породах шангулежской свиты и представлены красноцветными терригенно-карбонатными отложениями. Нижняя часть разреза с мелкогалечными конгломератами и гравелитами в основании сложена песчаниками, алевролитами с прослоями доломитов. Выше залегают тонкого ритмичного переслаивания алевролитов, алевритистых аргиллитов с прослоями доломитов, участками микрофитолитовых и строматолитовых [12]. Ипситская свита со стратиграфическим несогласием залегают на отложениях тагульской свиты [12]. В составе ипситской свиты выделяются две подсвиты: нижняя однородная по составу сложена тонкозернистыми кварц-полевошпатовыми кварцитовидными песчаниками; верхняя подсвита отличается резкой сменой набора осадочных пород и сложена доломитами, микрофитолитовыми доломитами, часто окремненными, переслаивающи-



мися с алевролитами и аргиллитами [12].

Возраст отложений карагасской серии принимается как неопротерозойский на основании находок средне- и верхнерифейских строматолитов и микрофитолитов [9], а также принимая во внимание наличие в разрезе серии силлов и даек габбро-долеритов нерсинского комплекса с возрастом около 740 млн лет [21].

Терригенные отложения шангулежской и тагульской свит карагасской серии были изучены авторами в коренных обнажениях, располагающихся по левому и правому бортам р. Бирюса в ее среднем течении (рис. 3). Отбор проб и образцов проведен по шангулежской свите по четырем разрезам, а тагульской – по трем. Для литологических и петрографических исследований были отобраны 40 штучков песчаников шангулежской и тагульской свит.

Результаты исследований

Петрографическая характеристика. Петрографическое изучение шлифов проводилось в Институте земной коры СО РАН с использованием поляризационных микроскопов Polat P-112 и Olympus VX53P.

В результате петрографического исследования 40 шлифов из терригенных отложений шангулежской и тагульской свит, на основании классификации Н.В. Логвиненко [5] и Ф.Дж. Петтиджона [7] было выделено четыре типа пород: 1 – кварцевые песчаники, 2 – аркозовые песчаники, 3 – аркозовые алевропесчаники,

4 – карбонатные песчаники (рис. 4). Существенных петрографических отличий между терригенными отложениями шангулежской и тагульской свит отмечено не было.

Кварцевые песчаники по величине обломков среднезернистые (рис. 4 а, б). В этих песчаниках практически повсеместно отмечается средняя степень сортировки обломочного материала, в котором присутствуют полуокатанные (85–88%), окатанные (12–15%) и неокатанные (0–2%) обломки, сложенные преимущественно кварцем (около 75–88%). Кроме этого, в обломочной фракции отмечаются полевые шпаты (8–10%), а также обломки пород (1–10%), которые представлены в основном гранитоидами и кремнями. Изредка среди них встречаются обломки эффузивов кислого состава. В небольшом количестве (1–4%) присутствует рудный минерал. Акцессорные минералы – турмалин, циркон, апатит, сфен, лейкоксен, мусковит. Цемент смешанного типа: контактовый, вдавливания, обрастания составляет 3–5% объема породы. По составу цемент в основном глинистый, иногда регенерационный, кремнистый. Метагенетические изменения проявлены слабо. В некоторых шлифах отмечаются новообразования тремолит-актинолита и хлоритизация, а также частичное замещение глинистых минералов светлой слюдкой. Почти повсеместно отмечается слабый катаклаз и образование гидроокислов железа.

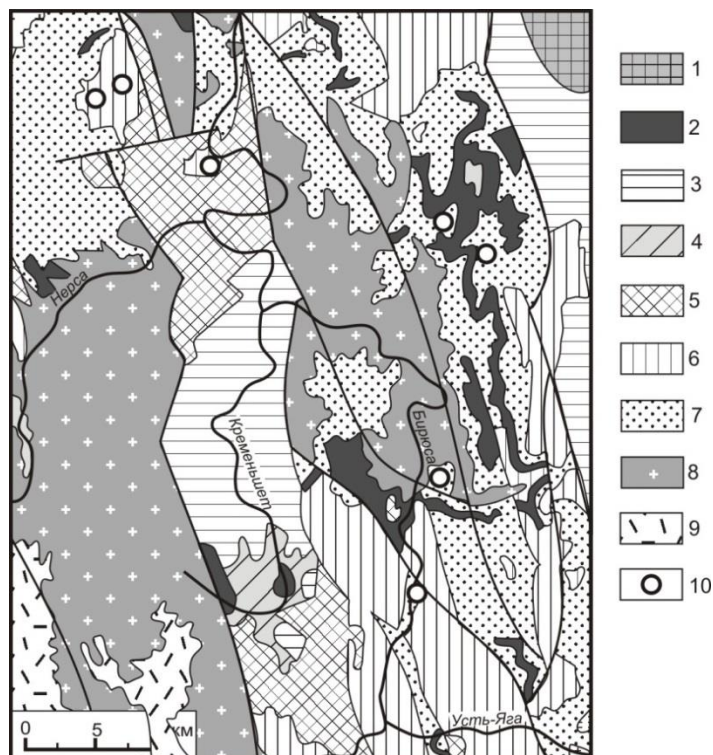


Рис. 3. Геологическая карта участка детальных работ [2]: 1 – палеозойские осадочные породы чехла Сибирского кратона; 2 – неопротерозойские долериты и габбро-долериты нерсинского комплекса; 3 – песчаники, гравелиты, конгломераты, алевролиты, аргиллиты, известняки и доломиты удинской свиты оселковой серии; 4 – песчаники, гравелиты, алевролиты и конгломераты марнинской свиты оселковой серии; 5 – алевролиты, конгломераты, песчаники и доломиты ипситской свиты карагасской серии; 6 – песчаники, аргиллиты и доломиты тагульской свиты карагасской серии; 7 – конгломераты, песчаники, алевролиты и доломиты шангулежской свиты карагасской серии; 8 – позднепалеопротерозойские гранитоиды саянского комплекса; 9 – палеопротерозойские кристаллические сланцы и гнейсы туманшетской толщи; 10 – места отбора проб



Аркозовые песчаники в основном состоят из плохо отсортированного обломочного материала (рис. 4 в, г), в котором различаются полуокатанные (35–87%), окатанные (5–15%), неокатанные (5–50%) обломки. Среди них преобладает кварц, количество которого составляет 56–79%. Отмечены также обломки полевых

шпатов (12–16%). В отдельных случаях их количество достигает 19–22%. Содержание обломков пород составляет 8–18%, среди которых отмечаются гранитоиды, кремни и изредка встречаются обломки похожие на девитрифицированное стекло кислого состава.

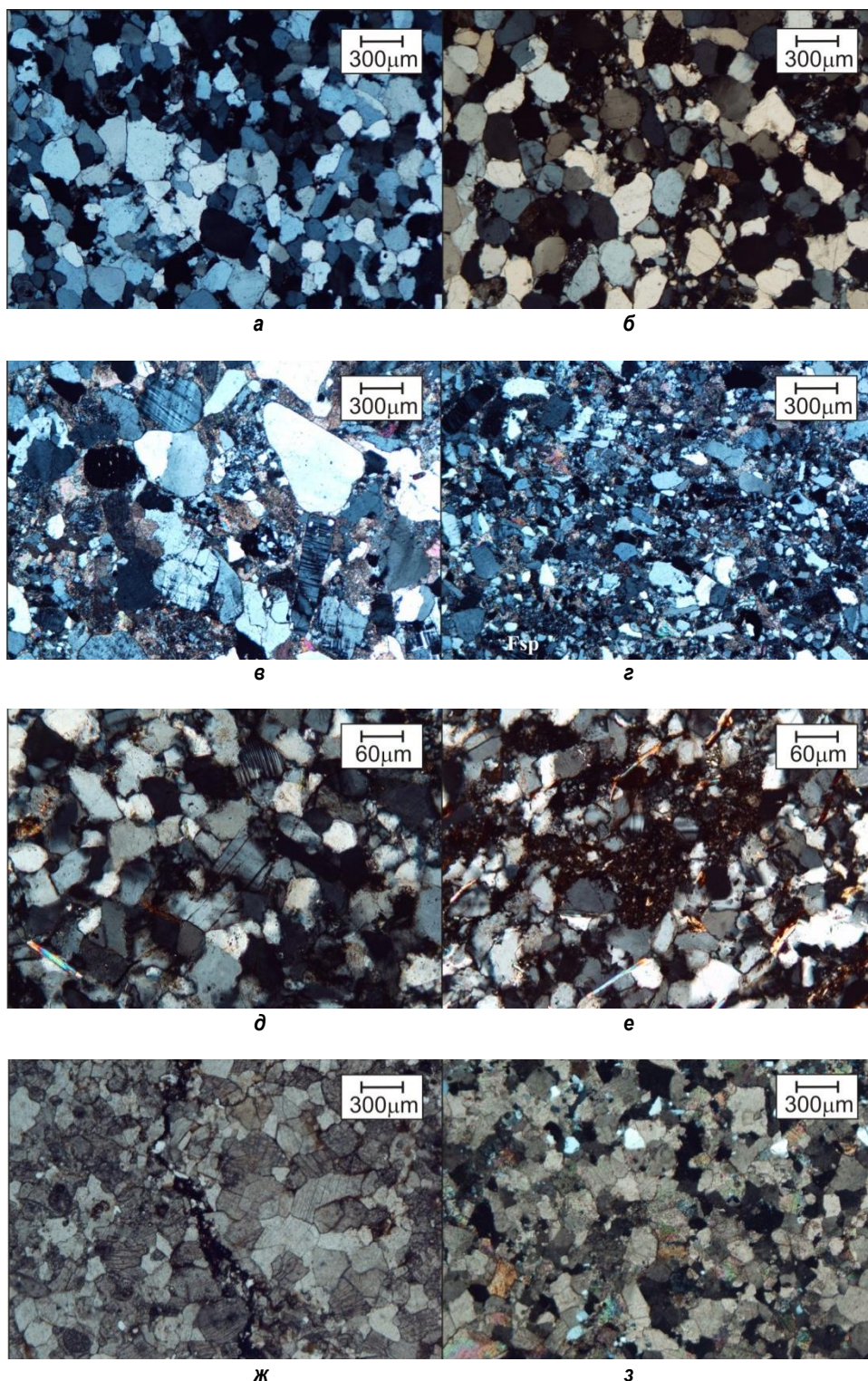


Рис. 4. Микрофотографии шлифов песчаников шангулежской и тагульской свит:
а, б – кварцевые песчаники: а – шангулежская свита, шлиф 1138; б – тагульская свита, шлиф 1286;
в, г – аркозовые песчаники: в – шангулежская свита, шлиф 1140; г – тагульская свита, шлиф z1329;
д, е – аркозовые алевропесчаники: д – шангулежская свита, шлиф 1126; е – тагульская свита, шлиф z1334;
ж, з – карбонатные песчаники: ж – шангулежская свита, шлиф 1123; з – тагульская свита, шлиф 1285. Николи x



Почти повсеместно присутствует рудный минерал (1–5%). Наиболее распространены такие акцессорные минералы, как циркон, турмалин, апатит, сфен-лейкоксен, мусковит. Цемент в основном глинистый, смешанный, контактовый, контактово-поровый. Нередко встречается цемент вдавливания. Состав цемента карбонатный, карбонатно-глинистый и хлорит-карбонатный. Метагенетические изменения проявлены слабым катаклизмом, замещением глинистого цемента слюдой, частичной перекристаллизацией кварца по периферии его обломков, уплотнением структуры цемента. Проявляется агрессивное поведение цементирующей глинисто-карбонатной массы, замещающей обломочный материал. В отдельных случаях отмечается слабая хлоритизация цемента.

Аркозовые алевропесчаники состоят из несортированного обломочного материала, который представлен неокатанными (90%) и полуокатанными (10%) зернами (рис. 4 д, е). Среди обломков преобладает кварц (55–70%). Полевые шпаты составляют 12–15%. Обломки в породе плохо сортированы. Крупные обломки (0,6–1,0 мм) окатаны, полуокатаны. Средние и мелкие обломки (0,2–0,5 мм и 0,03–0,10 мм) полуокатаны, неокатаны. Обломки пород (8–15%) представлены кремнями, гранитоидами, алевролитами. Изредка среди обломочного материала встречаются зерна, которые по структурно-текстурным особенностям напоминают эффузивы среднего – кислого составов. Из акцессорных минералов встречаются комковатый сфен-лейкоксеновый агрегат, тонкие чешуйки светлой слюдки, циркон и турмалин. Цемент смешанный, порово-базальный, базально-поровый, глинисто-карбонатный. Кроме того, встречаются участки с регенерационным, кварцевым контактово-поровым типом цементации. Метагенетические изменения проявлены слабым катаклизмом, окварцеванием, карбонатизацией.

Карбонатные песчаники представлены несортированными окатанными (20%) и неокатанными (80%) обломками (рис. 4 ж, з). Среди обломков преобладает

карбонат (75–80%). Кроме этого, в породе присутствуют обломки кварца (4–10%) и полевых шпатов (3–7%), контуры которых реакционные, разъедены цементом. В некоторых образцах на фоне основной кальцитовый массы различаются красновато-коричневые пятна замысловатой формы. Выполнены эти пятна гидроокислами железа, которые, вероятно, псевдоморфно заместили какую-то органическую форму. Акцессорные минералы представлены цирконом, турмалином, мусковитом. Цемент карбонатный, базально-поровый. Метагенетические изменения проявлены слабым катаклизмом и кальцитизацией, что подтверждается присутствием микротрещин, заполненных кальцитом.

Литохимическая характеристика

Определение основных петрогенных оксидов выполнено методом силикатного анализа в Аналитическом центре ИЗК СО РАН (аналитики: Н.Ю. Царева, Г.В. Бондарева) по методике [8]. Пределы обнаружения петрогенных оксидов от 0,01 до 0,05%.

Для литохимической характеристики терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии использовались 40 химических анализов образцов представительных осадочных пород, составы которых приведены в табл. 1, 2, 3. Первичная систематика пород проведена с использованием классификационной диаграммы А.Н. Неелова [6]. Вероятный нормативный минеральный состав исследуемых песчаников рассчитан с помощью программы MINLITH [10]. Для генетической типизации кварцевых песчаников, аркозовых песчаников и алевропесчаников была использована система петрохимических модулей [20]: ГМ (гидролизатный) = $(Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO) / SiO_2$, ТМ (титановый) = TiO_2 / Al_2O_3 , ЖМ (железный) = $(FeO + Fe_2O_3 + MnO) / (Al_2O_3 + TiO_2)$, ФМ (фемический) = $(FeO + Fe_2O_3 + MgO) / SiO_2$, НКМ (модуль нормированной щелочности) = $(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$, АМ (алюмокремневый) = Al_2O_3 / SiO_2 , рассчитанные значения которых приведены в табл. 1, 2.

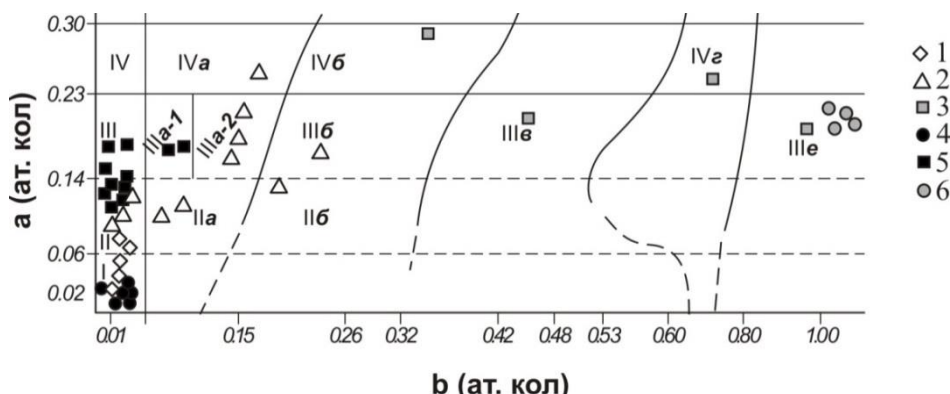


Рис. 5. Классификационная диаграмма а-б ($a = Al/Si$ (ат. кол.), $b = Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn + Ca + Mg$ (ат. кол.)) [4] для терригенных пород шангулежской и тагульской свит карагасской серии. 1–3 – шангулежская свита: 1 – кварцевые песчаники, 2 – аркозовые песчаники и алевропесчаники, 3 – карбонатные песчаники; 4–6 – тагульская свита: 4 – кварцевые песчаники, 5 – аркозовые песчаники и алевропесчаники, 6 – карбонатные песчаники. Цифры на диаграмме: I – кварцевые песчаники, ультрасилицистые; II – олигомиктовые песчаники, силицисты; слабокарбонатистые (слабожелезистые) (а), карбонатистые (железистые) (б); III – кислые туффиты, субсилицисты: аркозы, субаркозы (а-1), полимиктовые песчаники (а-2), граувакковые песчаники (б), карбонатные и карбонатно-железистые песчаники (в), песчаные карбонатолиты (е), IV – полимиктовые алевролиты (а), карбонатистые алевролиты (б), алевролитовые карбонатолиты (в)



Кварцевые песчаники характеризуются высокими содержаниями SiO₂ от 91 до 97 мас. %. На классификационной диаграмме А.Н. Неелова [6] точки составов кварцевых песчаников располагаются преимущественно в поле кварцевых песчаников и ультрасилицитов, исключение составили две точки составов песчаников шангулежской свиты – они попадают в поле олигомиктовых песчаников и силицитов (рис. 5). На диаграмме нормативного минерального состава, рассчитанной с помощью программы MINLITH [10], фигуративные точки этой группы пород компактно уложились в поле значений, характерных для кварцевых песчаников (рис. 6). В нормативном минеральном составе этой группы песчаников доминирует кварц (от 78 до 93%), в различных вариациях присутствуют полевые шпаты (от 5 до 20%), глинистая фракция представлена иллитом (от 0,3 до 6%). Кроме того, для нескольких проб кварцевых песчаников характерно присутствие серпентина (от 0,04 до 0,6%) и небольшое

количество доломита (от 0,07 до 0,7%) (табл. 1).

Значения отношения SiO₂/Al₂O₃ в этой группе песчаников изменяются от 18 до 87, что указывает на различную степень сортировки обломочного материала в процессе осаждения и транспортировки. По величине гидролизатного модуля (ГМ) 0,02–0,10 все песчаники этой группы классифицируются как гиперсилициты [20]. Значения титанового модуля (ТМ) изменяются от 0,001 до 0,03 и указывают на гипо- и нормотитановость этих пород. Кварцевые песчаники шангулежской свиты характеризуются значениями железного модуля (ЖМ), изменяющимися от 0,25 до 0,45, и классифицируются как нормально-железистые. Кварцевые песчаники тагульской свиты отличаются более высокими значениями ЖМ, варьирующимися в диапазоне от 0,25 до 1,18, по данному параметру они относятся как к нормально- и повышено-железистым, так и к высокожелезистым гиперсилицитам [20].

Таблица 1

Литохимический состав кварцевых песчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии

Компонент, мас. %, %	Номер образца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Шангулежская свита					Тагульская свита					
	Номер пробы полевой										
	1119	1120	1121	1122	1138	1286	1286/1	1286/2	1286/3	1286/4	1286/5
SiO ₂ , мас. %	90,70	91,20	96,50	92,70	91,60	91,63	92,71	92,21	95,82	95,92	97,22
TiO ₂	0,06	0,07	<0,20	0,03	0,08	0,07	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03
Al ₂ O ₃	4,90	3,98	1,59	3,72	3,85	3,25	3,10	3,35	1,10	1,40	1,15
Fe ₂ O ₃	<0,20	<0,20	<0,20	0,060	<0,20	0,46	0,29	0,35	0,31	0,27	0,29
FeO	0,98	1,02	0,72	1,32	0,98	1,06	0,68	0,48	1,02	1,01	0,45
MnO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,13	0,13	0,07	0,13	0,17	0,17	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10
CaO	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,34	0,18	0,13	0,41	0,10	0,10
Na ₂ O	1,21	0,95	0,03	0,04	0,48	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	1,09	1,88	0,94	1,77	2,03	2,90	2,83	2,93	0,92	1,30	0,88
P ₂ O ₅	<0,30	<0,30	<0,30	<0,30	0,04	0,08	0,08	0,08	0,06	0,03	0,04
п.п.п.	0,49	0,33	0,06	0,14	0,3	0,30	0,05	0,05	0,05	0,32	0,05
CO ₂	0,00	0,00	0,08	0,07	0,06	0,00	0,26	0,06	0,50	0,06	0,07
Сумма	100,1	99,7	100,0	100,0	99,6	100,3	100,4	99,8	100,4	100,6	100,4
a	0,06	0,05	0,02	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01
b	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	19	23	61	25	24	28	30	28	87	69	85
K ₂ O/Na ₂ O	1	2	31	44	4	290	283	293	92	130	88
ГМ	0,07	0,06	0,02	0,06	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02
ТМ	0,01	0,02	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03
НКМ	0,47	0,71	0,61	0,49	0,65	0,90	0,92	0,88	0,85	0,94	0,77
ЖМ	0,27	0,25	0,45	0,37	0,25	0,46	0,31	0,25	1,18	0,90	0,64
ФМ	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Плагиоклаз, %	11,30	8,93	0,28	0,38	4,50	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Ортоклаз	3,19	10,99	4,30	6,87	10,30	16,81	16,62	16,92	5,20	7,64	4,74
Кварц	78,21	78,25	92,33	84,25	80,62	79,88	81,46	80,83	91,61	90,31	93,16
Иллит	5,85	0,28	2,25	6,42	3,13	0,40	0,08	0,73	0,38	0,00	0,78
Хлорит	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Серпентин	0,02	0,23	0,04	0,00	0,20	0,00	0,09	0,13	0,00	0,11	0,09
Кальцит	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Доломит	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,73	0,23	0,07	0,64	0,20	0,16



Рис. 6. Диаграмма нормативного минерального состава, рассчитанного с помощью программы MINLITH [10], для песчаников и алевропесчаников карагасской серии. 1, 2 – шангулежская свита: 1 – кварцевые песчаники, 2 – аркозовые песчаники и алевропесчаники; 3, 4 – тагульская свита: 3 – кварцевые песчаники, 4 – аркозовые песчаники и алевропесчаники

Значения фемического модуля (ФМ) в кварцевых песчаниках обеих свит изменяются от 0,01 до 0,02, что позволяет их отнести к гипофемическим. Значения модуля общей нормированной щелочности (НКМ) изменяются от 0,47 до 0,94 и указывают на высокую щелочность данных пород [20]. Сумма щелочей в них изменяется от 0,86 до 2,97 мас. %, при этом в большинстве образцов наблюдается существенное преобладание содержания K_2O над Na_2O и отношение K_2O/Na_2O достигает 293.

В аркозовых песчаниках и алевропесчаниках содержания SiO_2 изменяются от 65 до 87 мас. %. На классификационной диаграмме А.Н. Неелова [6] точки составов песчаников этой группы располагаются в полях значений олигомиктовых слабокарбонатистых и карбонатистых песчаников, аркозов и субаркозов, полимиктовых песчаников и алевролитов (рис. 5). На треугольной диаграмме нормативного минерального состава (рис. 6) фигуративные точки аркозовых песчаников и алевропесчаников расположились преимущественно в поле аркозов [10]. В нормативном минеральном составе [10] (табл. 2) этой группы пород преобладает кварц (от 32 до 67%) и полевые шпаты (от 17 до 48%). Глинистые минералы представлены иллитом, нормативное содержание которого варьируется от 3 до 25%. Для большинства образцов аркозовых песчаников и алевропесчаников характерно присутствие серпентина (от 0,02 до 4,6%) и доломита (от 1 до 12%).

Значения соотношения SiO_2/Al_2O_3 для пород этой группы изменяются от 3,9 до 13,4, что свидетельствует о более низкой степени сортировки материала в процессе осаждения и транспортировки по сравнению с кварцевыми песчаниками. Значения гидролизатного модуля (ГМ) для аркозовых песчаников и алевропесчаников изменяются от 0,10 до 0,34 и позволяют классифицировать породы этой группы как нормо- и миосилиты [20]. По величине титанового модуля ($TM=0,01-0,04$) эта группа терригенных пород относится к гипо- и нормотитанистым. Значения железного модуля (ЖМ) изменяются от 0,09 до 0,74 и указывают на гипо- и норможелезистость пород этой группы. Фемический модуль (ФМ) для этой группы пород изменяется в пределах от 0,01 до 0,19 и позволяет классифицировать их как гипо- и нормофемические силиты.

Для аркозовых песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит характерны высокие значения модуля нормированной щелочности (НКМ), варьирующиеся в пределах от 0,51 до 0,80 и позволяющие отнести породы этой группы к супер- и гипержелезистым [20]. Для большинства пород этой группы отмечается резкое преобладание K_2O над Na_2O , отношение K_2O/Na_2O изменяется от 2 до 96, при этом сумма щелочей варьируется в диапазоне от 4,4 до 8,7 мас. %. По классификации Я.Э. Юдовича, М.П. Кетрис [20] образцы, сумма щелочей для которых >8 мас. %, классифицируются как алкалиты.



Литохимический состав аркозовых песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии

Компонент	Номер образца																				
	Шангулежская свита						Тагульская свита														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	1114	1115	1116	1117	1118	1126	1133	1134	1139	1140	1141	z1326	z1327	z1328	z1329	z1330	z1331	z1332	z1333	z1334	z1335
SiO ₂ , мас. %	67,54	81,9	69,6	81,11	81,94	65,16	85,74	87,13	69,25	71,75	67,69	84,19	83,27	82,21	79,65	80,33	75,05	77,07	78,15	74,73	80,20
TiO ₂	0,44	0,2	0,3	0,21	0,22	0,59	0,09	0,07	0,16	0,17	0,16	0,20	0,26	0,36	0,22	0,30	0,32	0,44	0,28	0,35	0,39
Al ₂ O ₃	11,0	7,08	7,91	6,72	8,65	13,79	7,49	6,49	10,2	9,4	8,7	7,53	7,85	8,66	10,09	9,49	11,31	10,98	11,21	10,59	9,06
Fe ₂ O ₃	3,15	1,9	2,06	1,12	1,73	2,16	<0,02	<0,02	1,34	0,46	0,69	0,26	0,53	0,24	0,48	0,92	0,20	1,34	0,43	2,24	0,57
FeO	0,71	0,93	0,66	0,89	0,78	4,0	0,78	1,02	1,18	1,75	5,81	0,76	0,91	0,54	0,79	0,92	3,67	1,09	0,74	2,47	1,31
MnO	0,04	0,05	0,04	0,03	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,06	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	2,55	0,65	2,96	1,27	0,13	3,16	0,23	0,10	0,56	0,62	2,5	0,07	0,24	0,09	0,25	0,21	0,86	0,14	0,06	0,91	0,33
CaO	1,94	0,61	3,86	0,41	0,06	0,51	0,31	0,22	5,2	4,79	4,11	0,11	0,05	0,10	0,07	0,05	0,07	0,27	0,27	0,05	0,14
Na ₂ O	0,09	0,12	0,08	0,11	1,83	0,13	1,2	0,64	0,75	0,56	0,14	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,09	0,07	0,09
K ₂ O	8,62	5,33	6,24	4,89	3,38	7,24	3,76	4,04	5,39	5,13	4,26	6,17	5,86	6,72	7,50	6,89	7,19	7,97	8,38	6,45	6,65
P ₂ O ₅	0,13	0,09	0,11	0,11	0,05	0,14	<0,03	<0,03	0,07	0,07	0,08	0,12	0,07	0,08	0,07	0,11	0,09	0,21	0,25	0,09	0,14
п.п.п.	0,8	0,16	0,26	0,12	0,57	2,64	0,09	0,06	1,12	0,94	2,36	0,24	0,39	0,35	0,45	0,65	1,32	0,38	0,24	1,73	0,73
CO ₂	2,73	0,82	5,81	1,95	0,19	0,25	0,2	0,14	4,51	4,03	3,22	0,08	0,10	0,06	0,11	0,07	0,23	0,22	0,15	0,20	0,24
Сумма	99,8	99,9	99,9	107,1	107,5	99,9	100,1	99,9	99,9	99,8	99,8	99,8	99,6	99,5	99,8	100,1	100,4	100,2	100,2	99,9	99,9
<i>a</i>	0,19	0,10	0,13	0,10	0,09	0,25	0,10	0,09	0,17	0,15	0,15	0,11	0,11	0,12	0,15	0,14	0,18	0,17	0,17	0,17	0,13
<i>b</i>	0,15	0,07	0,19	0,12	0,04	0,18	0,02	0,02	0,15	0,14	0,24	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,08	0,04	0,02	0,09	0,04
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	6	12	9	12	9	5	11	13	7	8	8	11	10,61	9	8	8	7	7	7	7	9
K ₂ O/Na ₂ O	96	44	78	44	2	56	3	6	7	9	30	88	84	84	94	86	90	80	93	92	74
ГМ	0,23	0,12	0,16	0,11	0,14	0,32	0,10	0,09	0,19	0,17	0,23	0,10	0,11	0,12	0,15	0,14	0,21	0,18	0,16	0,21	0,14
ТМ	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04
НКМ	0,79	0,77	0,80	0,74	0,60	0,53	0,66	0,72	0,60	0,61	0,51	0,83	0,76	0,79	0,75	0,73	0,64	0,73	0,76	0,62	0,74
ЖМ	0,34	0,40	0,34	0,29	0,29	0,43	0,10	0,16	0,25	0,24	0,74	0,13	0,18	0,09	0,12	0,19	0,33	0,21	0,10	0,43	0,20
ФМ	0,10	0,04	0,08	0,04	0,03	0,14	0,01	0,01	0,05	0,04	0,13	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,06	0,03	0,02	0,08	0,03
Плагиоклас, %	0,84	1,12	0,75	1,03	17,18	1,23	11,22	5,97	7,01	5,22	1,28	0,65	0,65	0,75	0,75	0,75	0,75	0,93	0,84	0,66	0,85
Ортоклас	47,5	28,84	34,39	25,87	16,68	29,21	19,64	21,74	24,85	23,57	15,58	31,41	34,76	37,45	40,01	36,14	34,23	42,98	47,50	29,88	35,34
Кварц	32,18	59,88	44,42	60,61	57,07	31,49	63,22	67,09	42,42	47,03	47,46	59,78	59,83	55,49	49,52	52,4	44,59	44,23	43,34	47,49	53,34
Иллит	6,59	4,68	4,39	5,30	6,06	25,21	4,63	3,76	12,64	12,00	16,36	6,04	3,17	4,45	8,00	8,24	14,75	7,02	3,00	15,35	7,44
Хлорит	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Серпентин	2,18	0,40	0,40	0,51	0,02	4,63	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,01	0,00	0,17	0,08	1,05	0,00	0,00	1,15	0,34
Кальцит	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,42	4,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Доломит	5,80	1,55	12,14	4,07	0,00	1,00	0,30	0,12	1,40	1,73	9,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Для кварцевых песчаников, а также аркозовых песчаников и алевропесчаников шангулежской и тагульской свит обнаруживается положительная корреляция между значениями ФМ и ТМ ($r = 0,32$), ТМ и ГМ ($r = 0,42$) и отсутствие таковой между НКМ и ГМ ($r = -0,4$), что является характерным признаком петрогенных пород, т.е. эти песчаники являются первозданными осадочными породами, образованными за счет разрушения магматических горных пород, рециклизация которых в современной биосфере происходила впервые (рис. 7) [20]. Также следует отметить, что на модульных диаграммах фигуративные точки исследуемых песчаников шангулежской и тагульской свит образуют перекрывающиеся поля (рис. 7).

Карбонатные песчаники. Содержания SiO_2 в песчаниках этой группы изменяется от 6,8 до 51,5 мас. %. Отмечается преобладание оксидов кальция (СаО от 6,2 до 27,4 мас. %) над оксидами магния (MgO от 5,6 до 17,9 мас. %) (табл. 3). Отношение СаО/MgO довольно постоянное, варьирующееся в пределах 1,10–1,57. Содержания CO_2 в песчаниках этой группы изменяются в диапазоне от 9 до 42 мас. %, что позволяет отнести их к карбонатолитам [17].

По соотношению оксидов кальция к сумме оксидов

магния, железа и марганца, песчаники этой группы можно классифицировать как доломитовые породы кальциево-(железо)-магниевого класса ($\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO}) = 1,14\text{--}1,38$) [19, 20]. На классификационной диаграмме А.Н. Неелова [6] (рис. 5) фигуративные точки составов рассматриваемых пород расположились в полях карбонатистых алевролитов, карбонатных и карбонатно-железистых песчаников, а также песчаных карбонатолитов. На диаграмме нормативного минерального состава для карбонатных песчаников (рис. 8), рассчитанного с помощью программы MINLITH [20], точки составов большинства исследуемых пород расположились в поле известняков и доломитов. Исключение составили два образца карбонатных песчаников шангулежской свиты (образцы 1125 и 1127), отвечающие составу карбонатных песчаников и алевролитов (рис. 8, табл. 3). В нормативном минеральном составе преобладает доломит (от 6 до 81%), кроме того для большинства образцов характерно присутствие незначительного количества кальцита (от 0,08 до 5,6%). Глинистая составляющая во всех песчаниках этой группы представлена иллитом (от 0,24 до 6,7%).

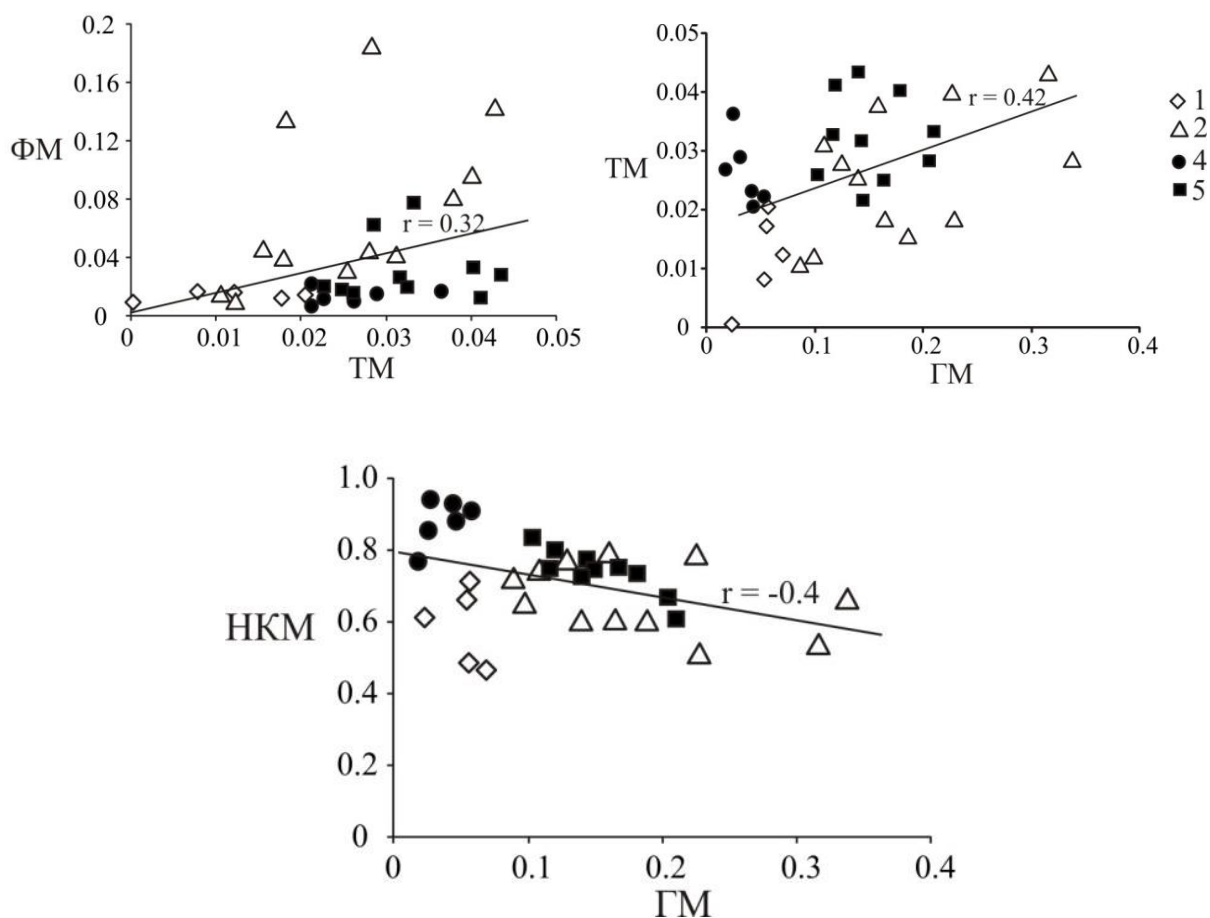


Рис. 7. Модульные диаграммы ФМ/ТМ, ТМ/ГМ, НКМ/ГМ для песчаников и алевропесчаников карагасской серии [20]:
1, 2 – шангулежская свита: 1 – кварцевые песчаники, 2 – аркозовые песчаники и алевропесчаники;
3, 4 – тагульская свита: 3 – кварцевые песчаники; 4 – аркозовые песчаники и алевропесчаники.
ЖМ – железный модуль, ГМ – гидролизатный модуль, ТМ – титановый модуль, ФМ – фемический модуль;
НКМ – модуль нормированной щелочности



Таблица 3

Литохимический состав карбонатных песчаников шангулежской и тагульской свит карагасской серии

Компонент, мас. %, %	Номер образца							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Шангулежская свита				Тагульская свита			
	Номер пробы полевой							
	1123	1124	1125	1127	1285	1285/1	1285/2	1285/3
SiO ₂ , мас. %	22,06	36,05	51,50	42,72	10,48	8,46	6,82	8,12
TiO ₂	0,13	0,24	0,37	0,27	0,10	0,06	0,05	0,07
Al ₂ O ₃	3,36	7,43	13,03	8,05	1,40	1,25	1,05	1,20
Fe ₂ O ₃	1,94	1,08	1,80	0,54	0,42	0,47	0,49	0,48
FeO	0,84	1,31	2,11	1,35	2,24	1,95	2,28	2,01
MnO	0,18	0,13	0,06	0,08	0,41	0,42	0,42	0,44
MgO	14,68	10,46	5,62	7,70	16,81	17,74	17,96	17,44
CaO	20,83	14,88	6,20	10,42	25,98	26,85	27,56	27,44
Na ₂ O	0,05	0,13	0,18	0,15	0,01	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	2,11	5,21	8,52	5,79	1,22	1,05	0,85	1,02
P ₂ O ₅	0,05	0,11	0,13	0,10	0,22	0,23	0,20	0,21
п.п.п.	0,42	0,84	1,74	0,89	0,34	0,46	0,05	0,57
CO ₂	33,14	22,22	8,69	15,54	40,37	41,14	42,57	41,14
Сумма	99,9	100,2	100,1	99,6	100,0	100,0	100,3	100,1
a	0,18	0,24	0,30	0,20	0,16	0,17	0,18	0,17
b	1,17	0,72	0,34	0,49	1,56	1,64	1,70	1,65
CaO/MgO	1,42	1,42	1,10	1,35	1,55	1,51	1,53	1,57
Плагиоклаз, %	0,48	1,21	51,5	1,41	0,10	0,09	0,09	0,09
Ортоклаз	10,18	26,91	0,37	30,63	7,10	5,95	4,73	5,81
Кварц	13,28	14,41	13,03	24,68	5,74	4,31	3,43	4,09
Иллит	4,35	6,71	1,80	6,55	0,24	0,42	0,48	0,34
Хлорит	0,00	0,00	2,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Серпентин	0,00	0,00	0,06	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
Кальцит	0,00	0,00	5,62	0,00	0,50	0,08	0,38	1,82
Доломит	67,39	46,95	6,20	33,78	77,16	80,8	81,60	79,31

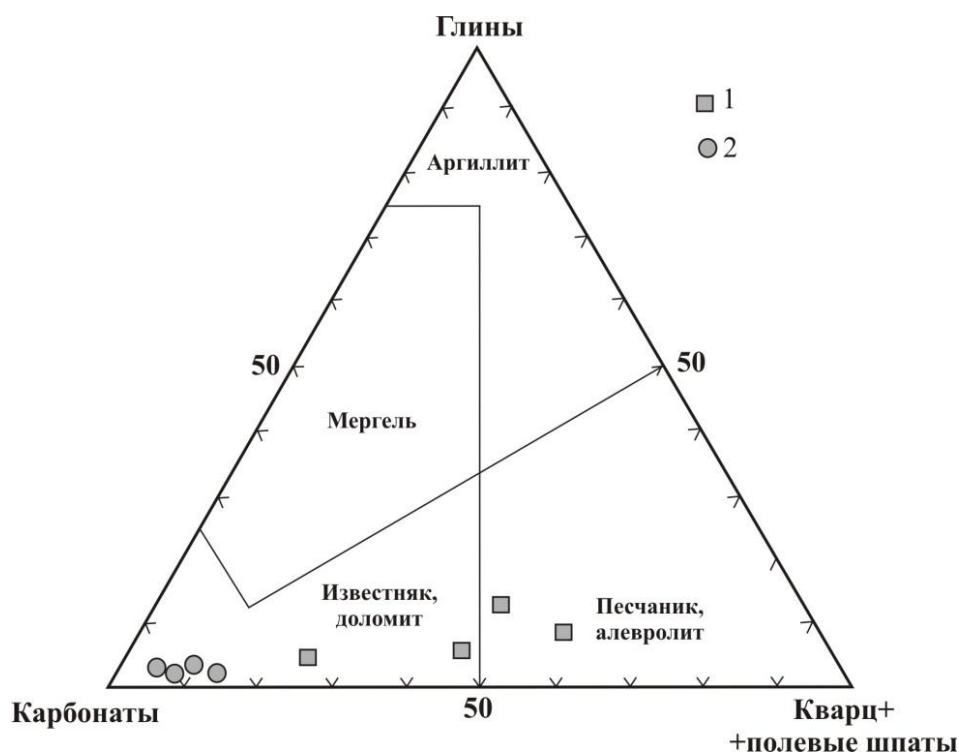


Рис. 8. Диаграмма нормативного минерального состава, рассчитанного с помощью программы MINLITH [20], для карбонатных песчаников карагасской серии: 1 – карбонатные песчаники шангулежской свиты; 2 – карбонатные песчаники тагульской свиты



Полученные данные свидетельствуют о том, что песчаники шангулежской и тагульской свит в целом аналогичны друг другу как по минералогическому, так и по литохимическому характеристикам. В результате петрографического исследования образцов терригенных пород обеих свит установлено, что они отвечают четырем основным группам: кварцевые песчаники, аркозовые песчаники, аркозовые алевропесчаники и карбонатные песчаники. Минеральный состав пород в каждой группе песчаников обеих свит аналогичен. Тяжелая минеральная фракция исследованных пород характеризуется исключительно гранитной спецификой (турмалин, циркон, апатит), что подтверждается обилием гранитных обломков в кластогенной части пород. При определении исходной природы песчаников шангулежской и тагульской свит с помощью классификационной диаграммы А.Н. Неелова [6] можно предположить, что фации первичного осадка включали кварцевые, полимиктовые и карбонатные песчаники и алевролиты. Количественное соотношение нормативных минералов (рис. 6, 8), рассчитанных с помощью программы MINLITH [10], показало, что исследуемые осадочные породы обеих свит отвечают по своему составу кварцевым песчаникам, аркозам и карбонатным песчаникам. Отличий в литохимическом составе терригенных отложений шангулежской и тагульской свит не отме-

чается. Для большинства изученных образцов песчаников и алевропесчаников обеих свит характерны аномально низкие содержания натрия и повышенные концентрации калия (табл. 1, 2). Такую особенность можно объяснить несколькими причинами: присутствием высококалиевых и низконатриевых пород в области источника сноса; наличием процессов калишпатового метасоматоза в районе распространения исследуемых пород [20]; обогащением терригенных пород калиевыми полевыми шпатами за счет разрушения гранитов [7].

С учетом результатов работ предшественников, а также парагенеза описанных фаций и присутствия в разрезе явно мелководных доломитов с микрофитолитами и строматолитами можно предположить, что осадки обеих свит формировались на проксимальной части морского шельфа южного (в современных координатах) фланга Сибирского кратона. Кроме этого, используя полученные результаты и принимая во внимание выводы работ Ю.К. Советова, можно говорить о существенном отличии кластогенной компоненты фациально однотипных отложений шангулежской и тагульской свит от ипситской свиты и, как следствие, разного состава источников сноса.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 13-05-00048.

Статья поступила 06.02.2015 г.

Библиографический список

1. Брагин С.С. Некоторые проблемы стратиграфии карагаской серии позднего рифея Присаянья // Поздний докембрий и ранний палеозой Сибири. Стратиграфия и палеонтология. Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО РАН СССР, 1986. С. 32–39.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия «Ангаро-Енисейская». Л. № 47 / Т.Ф. Галимова, А.Г. Пашкова, С.А. Поваринцева, В.В. Перфильев, М.М. Намолова, С.В. Андрущенко, Е.П. Денисенко, С.А. Пермяков. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 301 с.
3. Донская Т.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Вингейт М.Т.Д. Раннепротерозойские постколлизийные гранитоиды Бирюсинского блока Сибирского кратона // Геология и геофизика. 2014. № 7. С. 1028–1043.
4. Дубин П.Д., Хоментовский В.В., Якшин М.С. Новые данные о геологии позднего докембрия Присаянья // Стратиграфия нижнего докембрия и верхнего докембрия юга Сибирской платформы. М.: Наука, 1969. С. 318–331.
5. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высш. шк., 1974. 400 с.
6. Неелов А.Н. Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л.: Наука, 1980. 100 с.
7. Петтиджон Ф.Дж. Осадочные породы / пер. с англ. М.: Недра, 1981. 751 с.
8. Ревенко А.Г. Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // Геодинамика и Тектонофизика. 2014. Т. 5 (1). С. 101–114.
9. Решения Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. 1. Новосибирск, 1983. 214 с.
10. Розен О.М., Аббясов А.А., Мигдисов А.А., Ярошевский А.А. Программа MINLITH для расчета минерального состава осадочных пород: достоверность результатов в применении к отложениям древних платформ // Геохимия. 2000. № 4. С. 431–444.
11. Советов Ю.К., Комлев Д.А. Тиллиты в основании оселковой серии Присаянья и нижняя граница венда на юго-западе Сибирской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 48. № 1. С. 60–79.
12. Советов Ю.К., Кречетов Д.В., Соловецкая Л.В. Предвендский седиментационный цикл (сиквенс) Присаянья: условия осадконакопления и литостратиграфическая корреляция // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): мат-лы совещ. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2012. Вып. 10. Т. 2. С. 84–86.
13. Северный сегмент Палеоазиатского океана в неопротерозое: история седиментогенеза и геодинамическая интерпретация / А.М. Станевич, А.М. Мазукабзов, А.А. Постников, В.К. Немеров, С.А. Писаревский, Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская, Т.А. Корнилова // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 1. С. 60–79.
14. Хоментовский А.С. Некоторые данные по геологии Туманшетского соленосного района (Восточная Сибирь) // Бюллетень МОИП. 1950. Т. XXV. Вып. 3. С. 65–79.
15. Хоментовский В.В. Байкалий Сибири (850–650 млн лет) // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 4. С. 313–333.
16. Хоментовский В.В., Шенфиль В.Ю., Якшин М.С., Бутаков Е.П. Опорные разрезы отложений докембрия и нижнего кембрия Сибирской платформы. М.: Наука, 1972. 356 с.
17. Шенфиль В.Ю. Поздний докембрий Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1991. 185 с.
18. Эволюция южной части Сибирского кратона: интеграционные проекты СО РАН. Вып. 11 / науч. ред. Е.В. Складаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 367 с.
19. Юдович Я.Э. Региональная геохимия осадочных толщ. М.: Наука, 1981. 276 с.
20. Юдович Я.Э., Кэтрис М.П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 497 с.



21. Gladkochub D.P., Wingate M.T.D., Pisarevsky S.A., Don-skaya T.V., Mazukabzov A.M., Ponomarchuk V.A., Stanevich A.M. Mafic intrusions in southwestern Siberia and implications

for a Neoproterozoic connection with Laurentia // Precambrian Research, 2006. V. 147. P. 260–278.

УДК 551.510.41

ДИНАМИКА АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

© В.Л. Потемкин¹, Т.Г. Потемкина², Е.А. Гусева³

^{1,2}Лимнологический институт СО РАН,
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3.

³Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассмотрены результаты длительных синхронных наблюдений за концентрацией приземного озона и метеорологическими условиями в горном районе Восточного Саяна с высоким временным разрешением (минуты). Установлено, что изменчивость озона в пограничном слое определяется сложным рельефом и зависит от динамических процессов в атмосфере. С помощью корреляционного анализа рядов наблюдений исследованы взаимосвязи между величинами, высказаны гипотезы о возможных механизмах их взаимодействия. Установлено, что годовой максимум приземной концентрации озона наступает на полтора месяца позже максимума общего содержания озона в атмосфере. Оценена скорость осаждения озона из стратосферы (около 1 см/с). Приведен осредненный годовой ход рассматриваемых характеристик.

Ключевые слова: приземный озон; стратосферный озон; концентрация озона в воздухе; Восточный Саян; мониторинг газов.

ATMOSPHERIC OZONE DYNAMICS IN HIGHLAND

V.L. Potemkin, T.G. Potemkina, E.A. Guseva

Limnological Institute SB RAS,
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia.

National Research Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article examines the results of long-term synchronous observations of ground-level ozone concentration and meteorological conditions in the mountain area of Eastern Sayan with high temporal resolution (minutes). It is found that ozone variation in the boundary layer is determined by a complex relief and depends on dynamic atmospheric processes. The correlation analysis of series of observations has been used to study the relationships between the values. Hypotheses on their possible interaction mechanisms are put forward. It is discovered that the annual maximum of ground-level ozone concentration comes six weeks later than the maximum of total ozone content in the atmosphere. The deposition velocity of stratospheric ozone is estimated (about 1 cm/s). An average annual variation of the characteristics under investigation is given.

Keywords: ground-level ozone; stratospheric ozone; ozone concentration in the air; East Sayan; gas monitoring.

Парниковые газы и атмосферный аэрозоль признаются одними из наиболее важных факторов изменчивости климата Земли, поэтому любые дополнительные экспериментальные данные о межгодовой изменчивости концентраций этих газов в разных районах мира всегда будут представлять большой интерес. Имеющиеся к настоящему времени длинные ряды наблюдений за газами в ряде удаленных фоновых районов мира немногочисленны. Сибирь в этом отно-

шении пока вообще остается «белым пятном». Одним из наиболее подходящих районов для такого мониторинга на юге Сибири является район астрономической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН в пос. Монды (рис. 1). Этот район практически не испытывает антропогенного влияния локальных и региональных источников и может характеризовать межгодовую изменчивость глобального фона парниковых газов. На этой станции сотрудниками Лимнологическо-

¹Потемкин Владимир Львович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и химии атмосферы, тел.: (3952) 426502, e-mail: klimat@lin.irk.ru

Potemkin Vladimir, Candidate of Geography, Senior Researcher of the Laboratory of Hydrochemistry and Atmospheric Chemistry, tel.: (3952) 426502, e-mail: klimat@lin.irk.ru

²Потемкина Татьяна Гавриловна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрохимии и химии атмосферы, тел.: (3952) 426502, e-mail: tat_pot@lin.irk.ru

Potemkina Tatiana, Candidate of Geography, Senior Researcher of the Laboratory of Hydrochemistry and Atmospheric Chemistry, tel.: (3952) 426502, e-mail: tat_pot@lin.irk.ru

³Гусева Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроительных технологий и материалов, тел.: (3952) 405147, e-mail: el.guseva@rambler.ru

Guseva Elena, Candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department of Machine-building Technologies and Materials, tel.: (3952) 405147, e-mail: el.guseva@rambler.ru