

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-594-601



ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОТЛОЖЕНИЙ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА СРЕДНЕГО И НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЙ БАССЕЙНА РЕКИ ИНДИГИРКИ

✉ Тарасов А.И.^{1,2}, Тумской В.Е.², Ростовцева Ю.В.³

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

² Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия

³ Геофизический центр РАН, Москва, Россия

✉ arstaras@gmail.com

Изучаются минеральный и гранулометрический состав отложений ледового комплекса в среднем и нижнем течении р. Индигирки. Установлено, что по гранулометрическому составу отложения являются алевритами глинистыми с примесью тонкого песка, по вещественному составу глинистых минералов выделяется единая хлорит-иллитовая ассоциация глинистых минералов, по составу порообразующих компонентов – собственно аркоз. Проведено сравнение с аллювиальными осадками в этом районе. В итоге определено, что отложения сформированы в результате деятельности делювиально-флювиальных процессов.

Ключевые слова: ледовый комплекс, река Индигирка, источники сноса, минеральный состав, гранулометрический состав

Введение. Отложения ледового комплекса (ЛК) широко распространены в пределах низменностей Якутии, в том числе в среднем и нижнем течении реки Индигирки. Ледовым комплексом называют толщи высокольдистых синкриогенных отложений, содержащие сингенетические повторно-жильные льды (ПЖЛ) [Романовский, 1993]. ЛК формировался в холодные эпохи неоплейстоцена в суровых климатических условиях. Существует несколько гипотез о происхождении ЛК: аллювиальная [Попов, 1953], криогенно-эоловая [Томирдиаро, 1980], пролювиально-делювиальная [Гравис, 1969], озерно-болотная [Кайялайнен, Кулаков, 1965], полигенетическая [Конищев, 1981; Schirrmeister et al., 2013]. Так как часть гипотез о происхождении (криогенно-эоловая, полигенетическая, аллювиальная) предполагает, что в образовании отложений ЛК доминирующую роль играют процессы привноса материалы дальних заносов, в то время как другие (пролювиально-делювиальная, озерно-болотная) гипотезы основываются на идеи доминирования преобразования местного материала. Для определения генезиса важно выявить соотношение местного и привнесенного материала, поскольку это позволит сузить круг потенциальных гипотез происхождения.

Цель настоящего исследования – установление сходств и различий состава отложений ЛК, а также определения источника поступления осадочного материала, особенностей их формирования и решения вопросов происхождения. Задачи – определение минерального и гранулометрического состава отложений ЛК

Объекты и методы исследования. Были изучены два обнажения в среднем течении р. Индигирки: И22-О2 и И22-Ку, соответственно в 80 и 30 км выше по течению от поселка Куберганя (рис. 1). Еще одно обнажение Шаманово было изучено в нижнем течении, в 20 км ниже по течению от поселка Оленегорск.

Обнажение И22-О2 (67°38' с.ш., 143°30' в.д.) связано с термоцирком шириной 100 м и высотой 15 м, в котором обнажены несколько грунтовых столбов шириной 3-4 м и ледяных жил. Видимая мощность отложений ЛК составляет 10-15 м, они представлены алевритами темно-серого цвета с поясковой криогенной текстурой. Было отобрано 6 образцов (табл. 1)

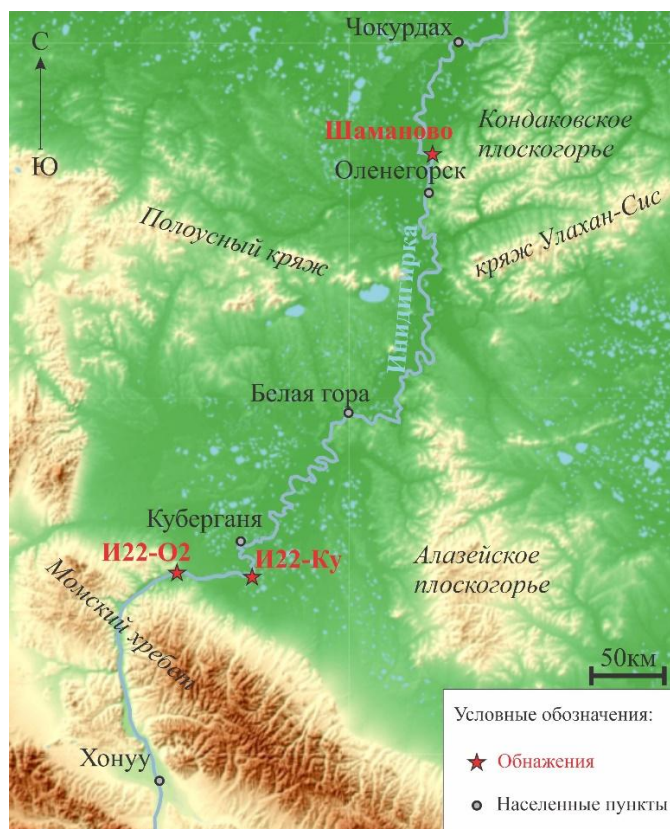


Рис. 1. Обзорная карта района работ и местоположения обнажений.

Таблица 1. Высоты отбора образцов

Образец	Высота отбора (относительно уровня реки), м	Образец	Высота отбора (относительно уровня реки), м
И22-О2		Шаманово	
И22-М8	10,5	И23-УК-13	23
И22-М7	9,2	И23-УК-12	20,1
И22-М6	2,5	И23-УК-11	19,9
И22-М5	1,5	И23-УК-10	19,6
И22-М4	1,3	И23-УК-9	19,2
И22-М3	0,5	И23-УК-8	17,8
И22-Ку		И23-УК-7	17,3
И22-Ку-1	20,9	И23-УК-6	16,8
И22-Ку-2	20,4	И23-УК-5	13,8
И22-Ку-3	20	И23-УК-4	11,8
И22-Ку-4	15,4	И23-УК-3	6,5
И22-Ку-5	15	И23-УК-2	4,1
И22-Ку-6	14,5	И23-УК-1	2,7
И22-Ку-11	13		
И22-Ку-12	12		
И22-Ку-13	11		

Обнажение И22-Ку ($67^{\circ}39'$ с.ш., $144^{\circ}44'$ в.д.) представляет собой два термоцирка, расположенных на разных гипсометрических уровнях. Бровка нижнего термоцирка находится на отметке 15 м над рекой, ширина термоцирка около 10 м, высота 4-5 м, в нем обнажены грунтовый столб и ледяные жилы. Бровка верхнего термоцирка находится на отметке 36 м над уровнем реки, термоцирк имеет ширину 5 м и высоту 2 м. В нем

обнажаются верхние 0,9 м отложений ЛК, которые представлены алевроитами буровато-серыми с поясковой криотекстурой. Было отобрано 9 проб (табл. 1).

Обнажение Шаманово (70°00' с.ш., 147°36' в.д.) представляет собой термоцирк шириной 400 м и высотой 24 м, начинающийся от уреза воды в реке. В нем обнажается множество грунтовых столбов каждый шириной 4-5 м, высота некоторых достигает до 10 м. Отложения представлены алевроитами буровато-серыми с прослоями органических остатков, представленных нитевидными корешками, в верхних 4 м наблюдается неясная невыдержанная горизонтальная слоистость со слойками толщиной 5-10 см. Было отобрано 13 проб (табл. 1).

Задачи установления гранулометрического и минерального состава решились методами лазерной дифрактометрии и РФА. Далее гранулометрические данные были статистически обработаны, рассчитаны следующие статистические параметры: медианное значение размеров частиц (Md), коэффициенты сортировки (So), асимметрии (Sk) [Фролов, 1993].

Результаты. В обнажении И22-О2 изученные отложения по гранулометрическому составу однотипны и соответствуют алевроиту (65-70%) глинистому (20-25%), содержащему примесь тонкого песка (5-15%). Зерна размером 10-30 микрон преобладают. Сортировка средняя (табл. 2).

Таблица 2. Статистические гранулометрические параметры

№ Образца	So	Md, мм	Sk	№ Образца	So	Md, мм	Sk
И22-О2				Шаманово			
И22-М3	2,44	0,018	0,46	И23-УК-1	2,67	0,010	0,88
И22-М4	2,52	0,015	0,58	И23-УК-2	3,16	0,012	1,11
И22-М5	2,43	0,016	0,55	И23-УК-3	3	0,06	0,01
И22-М6	2,32	0,020	0,57	И23-УК-4	2,12	0,025	0,72
И22-М7	2,40	0,015	0,64	И23-УК-5	2,12	0,026	0,67
И22-М8	2,40	0,015	0,64	И23-УК-6	2,12	0,025	0,72
И22-Ку				И23-УК-7	2,12	0,025	0,72
И22-Ку-1	2,44	0,016	0,58	И23-УК-8	2,18	0,025	0,68
И22-Ку-2	2,64	0,019	0,48	И23-УК-9	2,35	0,027	0,62
И22-Ку-3	2,67	0,010	0,86	И23-УК-10	2,23	0,036	0,47
И22-Ку-4	2,35	0,012	0,78	И23-УК-11	2,33	0,025	0,70
И22-Ку-5	2,35	0,010	0,88	И23-УК-12	3,13	0,016	0,95
И22-Ку-6	2,35	0,013	0,67	И23-УК-13	3,29	0,018	0,68
И22-Ку-11	2,35	0,015	0,50				
И22-Ку-12	2,37	0,015	0,62				
И22-Ку-13	2,37	0,015	0,62				

По набору породообразующих компонентов отложения отвечают собственно аркозам (по [Шутов, 1967]). В пробе И22-М6 отмечается незначительное повышение содержания литокластов, что в данном случае позволяет относить отложения к граувакковым аркозам по вещественному составу. Среди глинистых минералов в наибольших количествах присутствуют иллит (51-77%) и хлорит (16-41%), в незначительных – смектит и каолинит. В целом выделяется хлорит-иллитовая глинистая ассоциация (рис. 2).

В обнажении И22-Ку по гранулометрическому составу изучаемые отложения также являются однотипными и соответствуют алевроиту (60-66%) глинистому (17-32%), содержащему примесь тонкого песка (7-17%). Зерна размером 10-30 микрон преобладают. Сортировка средняя (Табл. 2).

По набору порообразующих компонентов отложения отвечают собственно аркозам. Среди глинистых минералов в наибольших количествах присутствуют иллит (60-77%) и хлорит (17-20%), в незначительных – смектит, каолинит и смешанослойный иллит-смектит. В целом выделяется хлорит-иллитовая глинистая ассоциация (рис. 2).

В обнажении Шаманово по гранулометрическому составу изучаемые отложения являются, в целом, схожими и соответствуют алевроиту (51-67%) глинистому (14-47%), содержащему примесь тонкого песка (2-23%). Зерна размером 20-50 микрон преобладают. В основном, сортировка средняя. Можно заметить, что пробы И23-Ук11-13 несколько отличаются от проб И23-Ук4-10, выделяются 2 моды распределения, однако главный пик находится на тех же значениях (~50 микрон), ухудшается сортировка до плохой. Так же наблюдаются отклонения в пробах И23-Ук1-3, где так же выделяются 2 моды распределения и ухудшается сортировка до плохой (Табл. 2).

По набору порообразующих компонентов отложения отвечают собственно аркозам. Среди глинистых минералов в наибольших количествах присутствуют иллит (69-87%) и хлорит (11-23%), в незначительных – смектит, каолинит и смешанослойный иллит-смектит. В целом выделяется хлорит-иллитовая глинистая ассоциация (рис. 2).

Обсуждение результатов. Авторами работы проведены исследования для выявления ассоциаций глинистых минералов в аллювиальных четвертичных отложениях р. Индигирки (Тарасов, 2023). Было определено, что по колебаниям содержаний глинистых минералов в рассматриваемых отложениях выделяются четыре типа отложений, отвечающих единой хлорит-иллитовой ассоциации: (1) с высоким содержанием иллитов и хлоритов, (2) с высоким содержанием иллитов и хлоритов, а также наличием каолинита, (3) с наиболее высокими содержанием иллитов, (4) с высокими содержаниями иллитов и хлорита, а также наличием каолинита и смектитов (рис. 3)

Предполагается, что колебания содержаний глинистых минералов в тонкодисперсной фракции изучаемых аллювиальных отложений могут отражать особенности строения, размываемых комплексов пород, вскрываемых в рассматриваемой части долины р. Индигирки (рис. 4).

По полученным данным можно сделать вывод об идентичности гранулометрических характеристик отложений ЛК в среднем и нижнем течении. В целом соотношение фракций неизменно и характеризуется как алевроит глинистый с примесью тонкого песка. Образование таких характеристик и соотношений фракций может быть связано как с эоловым процессом [Кригер, 1965], так и с процессом криогенного выветривания [Конищев, 2015]. Нельзя с полной уверенностью сказать какой процесс привел к формированию этих отложений, однако можно предположить, что изучаемые отложения сформировались в первую очередь в результате криогенеза. Отклонения характеристик в отложениях обнажения Шаманово можно объяснить тем, что в периоды формирования горизонтов с аномальными значениями могли измениться условия седиментации на более застойные, которые способствовали уменьшению размера частиц отложений.

Минералогический состав порообразующих компонентов валовых проб отложений ЛК в среднем и нижнем течении в точке охарактеризован как собственно аркоз, только одна проба (И22-М6) в точке И22-О2 характеризуется граувакковым аркозом. Это может быть объяснено тем, что эта точка расположена ближе всего к горным массивам сложенными эффузивными и метаморфическими породами, которые могли повлиять на содержание литокластов в пробе.

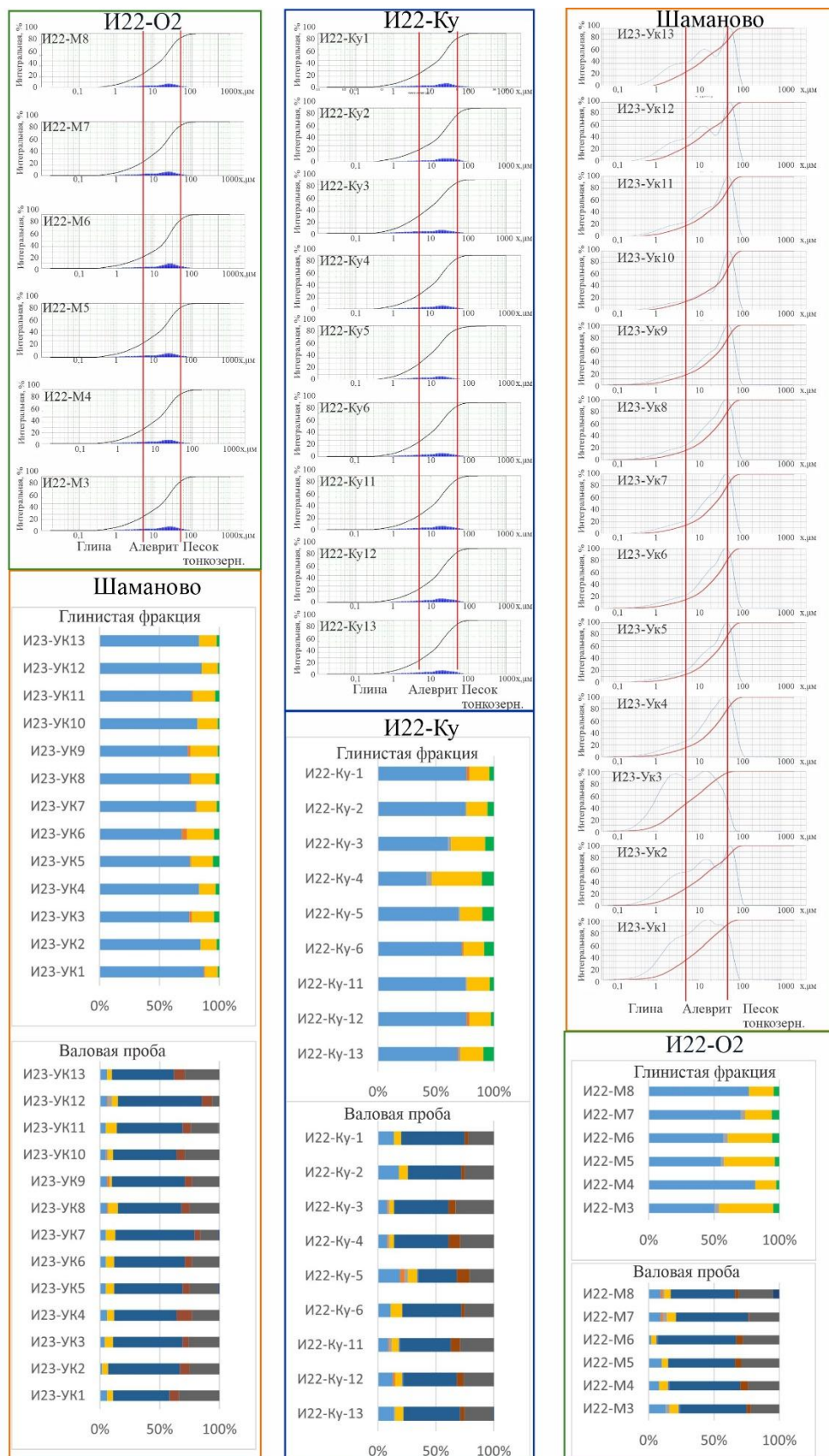


Рис. 2. Графики гранулометрического и минерального составов. КППШ - калиевый полевоы шпат, песок тонкозерн. - песок тонкозернистый.

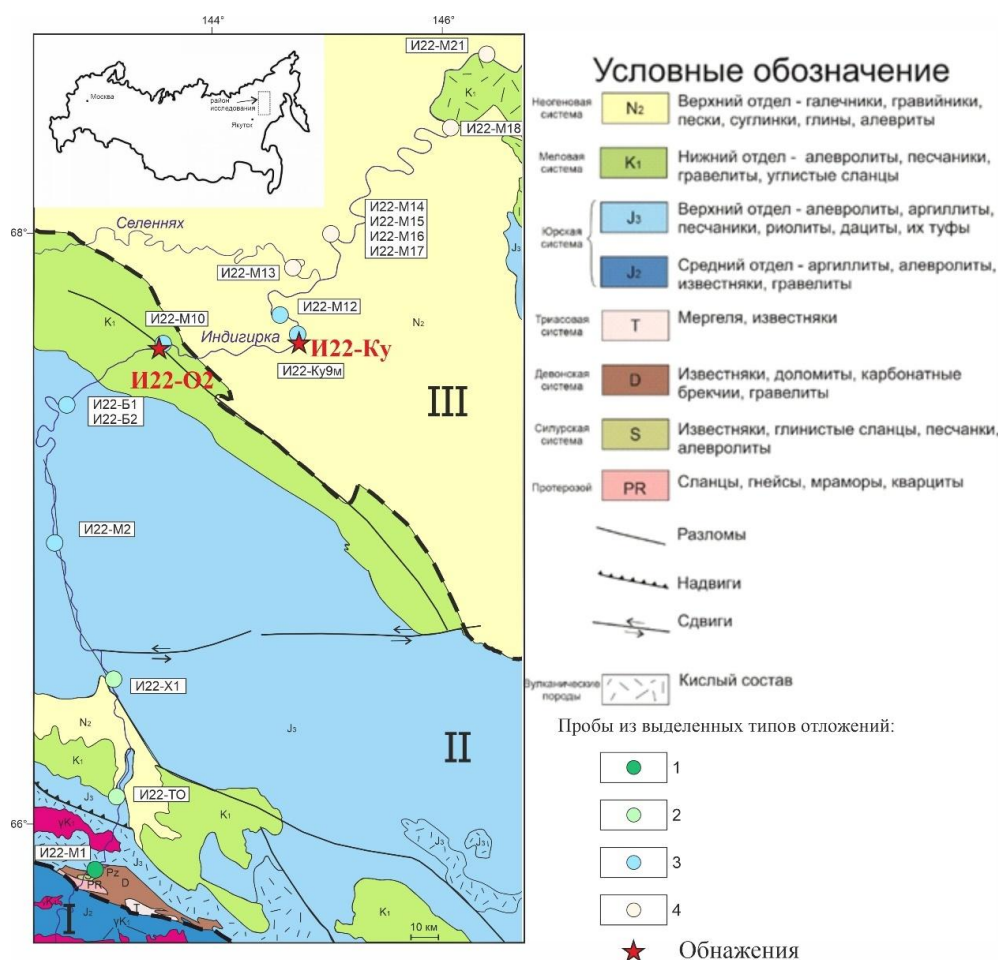


Рис. 3. Схема геологического строения района исследования и схема расположения точек отбора. Структурно-фациальные области: I – Верхояно-Колымская, II – Черско-Полуосненская, III – Алазейская

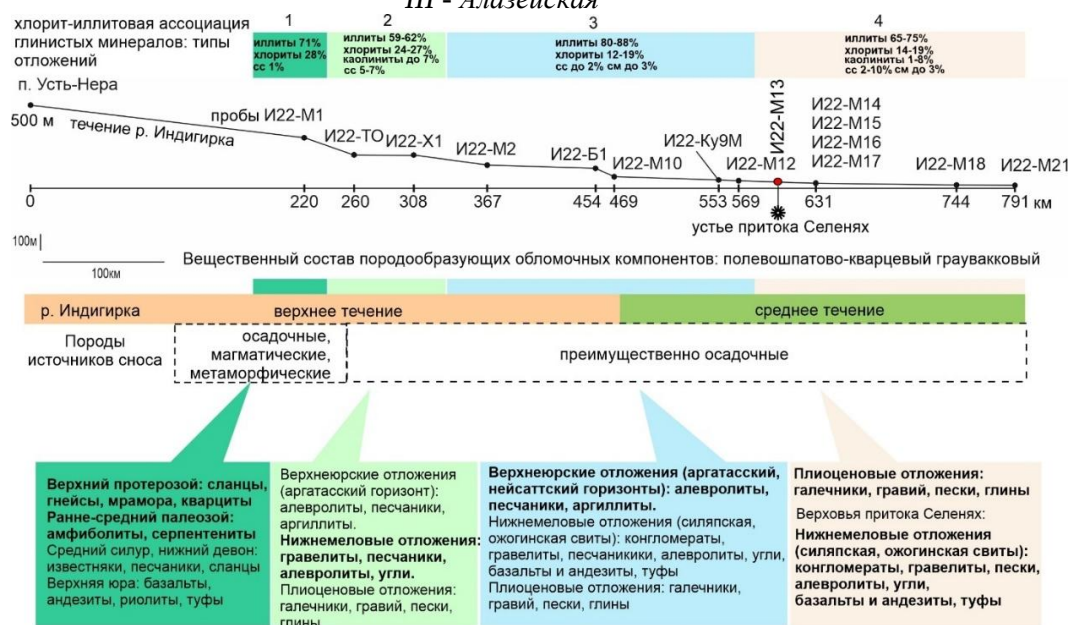


Рис. 4. б) Типы отложений аллювия р. Индигирка, выделенные по изменчивости содержаний разновидностей слоистых силикатов и отвечающие единой хлорит-иллитовой ассоциации глинистых минералов. 1–4 – выделяемые типы отложений: 1 – первый (с высокими содержаниями иллитов и хлоритов), 2 – второй (с высокими содержаниями иллитов и хлоритов, а также наличием каолинита), 3 – третий (с наиболее высокими содержаниями иллитов) и 4 – четвертый (с высокими содержанием иллитов и хлоритов, а также наличием других видов глинистых минералов).

Состав глинистой фракции отложений ЛК в среднем и нижнем течении во многом сходен и может характеризоваться единой хлорит-иллитовой ассоциацией с высокими содержаниями иллитов. Это можно объяснить тем, что материал из которого формируются отложения ЛК поступает из тех же источников, что и материал для формирования отложений аллювия. Отложения ЛК четко накладываются на типизацию отложений аллювия в точках И22-О2 и И22-Ку. Для типизации аллювиальных отложений в районе Шаманово нет данных, однако комплекс пород составляющий Кондаковское плоскогорье (рис. 5), который явно является источником материала для ЛК в этой точке, аналогичен комплексам, по строению и составу, породам формирующим Черско-Полоусненскую структурно-фациальную зону, которая является источником материала для аллювиальных отложений в районе точек И22-О2 и И22-Ку.

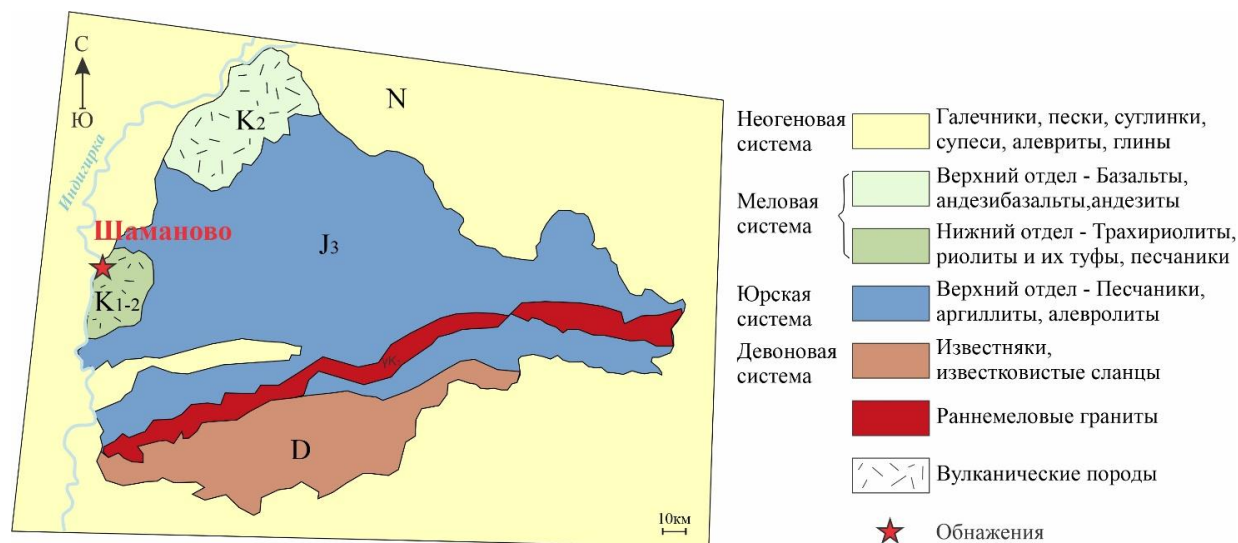


Рис 5. Схема геологического строения Кондаковского плоскогорья.

Исходя из всего вышеописанного, можно сделать вывод о том, что формирование этих пород может быть связано с делювиально-флювиальными процессами на фоне криогенного выветривания. Объяснить это можно тем, что доминирующими источниками материала являлись местные источники сноса, формирование гранулометрического состава (нетипичного для этого генетического типа) связывается с криогенезом.

Финансирование. Работы проводились в рамках проекта РНФ № 23-77-10046 (рук. Т.В. Романис).

ЛИТЕРАТУРА

Гравис Г.Ф. Склоновые отложения Якутии (условия накопления и промерзания, криогенное строение). М., Наука. 1969. С. 128.

Кайялайнен В.И., Кулаков Ю.Н. Основные черты истории геологического развития Яно-Индиговской (Приморской) низменности в неоген-четвертичное время // Антропогенный период в Арктике и Субарктике. Москва: Недра, 1965. С. 56-64.

Коницев В.Н. Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере // Новосибирск: Наука. 1981. 197 с.

Коницев В. Н. Лессовые породы: новые возможности изучения их генезиса // Инженерная геология. 2015. № 5. С. 22-36.

Кригер Н.И. Лесс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука. 1965. 254 с.

Попов А.И. Особенности литогенеза аллювиальных равнин в условиях сурового климата // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1953. № 2. С. 50-72.

Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ. 1993. 336 с.

Томирдиаро С.В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука. 1980. 184 с.

Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1993. 432. с.

Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86-103.

Schirrmeister L., Froese D., Tumskoy V., Grosse G., Wetterich S. Yedoma: Late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia // Amsterdam. In: Elias, S.A. (Ed.), The Encyclopedia of Quaternary Science. Vol. 3. 2nd ed. Elsevier. 2013. P. 542–552. doi: 10.1016/b978-0-444-53643-3.00106-0

THE GRANULOMETRIC AND MINERAL COMPOSITION OF THE DEPOSITS OF THE ICE COMPLEX IN THE MIDDLE AND LOWER CURRENTS OF THE INDIGIRKA RIVER BASIN.

Tarasov A.I.^{1,2}, Tumskoy V.E.², Rostovtseva Yu. V.³

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

²Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

³Geophysical Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The mineral and granulometric composition of the deposits of the ice complex in the middle and lower currents of the Indigirka River are studied. It has been established that, according to the granulometric composition, the deposits are clay aleurite with an admixture of very fine sand, according to the material composition of clay minerals, a single chlorite-illite association of clay minerals is distinguished, according to the composition of the pore-forming components - arkose proper. A comparison was made with alluvial precipitation in this area. As a result, it was determined that the deposits were formed as a result of the activity of deluvial-alluvial processes.

Keywords: ice complex, Indigirka, sources of destruction, mineral composition, granulometric composition

REFERENCES:

Gravis G.F. Slope deposits of Yakutia (accumulation and freezing conditions, cryogenic structure). Moscow: Nauka. 1969. P. 128. (in Russian).

Kaiyalaynen V.I., Kulakov Yu. N. Main features of the history of geological development of Yana-Indigirka Lowland in the Neoge-Quaternary // Trudy NIIGA. M.: Nedra (Publ.). 1965. p. 143. (in Russian).

Konishchev V.N. Formation of the composition of dispersed grounds in the cryolithosphere. Novosibirsk, Nauka Publ. 1981. p. 197 (in Russian)

Konischev V.N. Loess soil: new opportunities of its genesis study // Engineering geology world. 2015. №. 5. p. 22-36. (in Russian).

Popov A.I. Features of alluvial plain litogenesis in harsh climate // Izvestia AN SSSR Ser. geogr. 1953. № 2. P. 50–72.

Romanovsky N. N. Osnovy Kriogeneza Litosfery (Fundamentals of Lithosphere Cryogenesis) // Moscow University. 1993. P. 335. (in Russian).

Tomirdiario S.V. Loess-ice formation of Eastern Siberia in the late Pleistocene and Holocene // Ed. N.I. Krieger. Moscow: Nauka. 1980. 184 p. (in Russian).

Frolov V.T. Lithology. Part 2. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta. 1993. P. 432 (in Russian).

Shutov V. D. Classification of sandstones // Litol. Polezn. Iskop., No. 5. 1967. pp. 86-103

Schirrmeister L., Froese D., Tumskoy V., Grosse G., Wetterich S. Yedoma: late Pleistocene ice-rich syngenetic permafrost of Beringia // Amsterdam. In: Elias, S.A. (Ed.), The Encyclopedia of Quaternary Science. Vol. 3. 2nd ed. Elsevier. 2013. pp. 542–552. doi: 10.1016/b978-0-444-53643-3.00106-0