

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ КВАРЦА ВЕНДСКИХ ПЕСЧАНИКОВ ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО УРАЛА, ШКАПОВСКО-ШИХАНСКОЙ ВПАДИНЫ

А. И. Ялышева

Анализ сходства между разными геологическими объектами является одной из составляющих их изучения. Такие процедуры можно провести с помощью корреляционной матрицы и кластеризации их признаков или свойств. Данная работа основана на анализе математической модели значений морфологических показателей сферичности и изометричности кластогенных зерен кварца вендских псаммитов западного склона Урала.

Морфология кластогенного кварца является результатом взаимодействия структуры (внутренние свойства кристаллической решетки), скорости и интенсивности седиментологического процесса, а также времени, которое необходимо для преобразования зерна в процессе транспортировки. Работы ряда исследователей [3, 15] показали, что сферичность и изометричность, как морфологические признаки кварца осадка, являются ключом к наиболее ранней истории формирования его зерен, а именно их генетической принадлежности (петротипу источника сноса). Это отличает данные показатели от таких морфологических свойств зерен как округленность и поверхностная структура зерен, которые указывают на степень и длительность преобразования кластики в ходе седиментологического процесса.

В результате ранее выполненного статистического анализа значений сферичности и изометричности кластогенного кварца докембрийских песчанников западного склона Урала [1, 2, 13, 14] установлено, что названные параметры позволяют различать литогенный (многократно переотложенный) и петрогенный кварц осадочных пород. Генетическая принадлежность кластогенного кварца контролируется петротипом источника сноса и определяется по отношению к эталонным показателям сферичности и изометричности порообразующего кварца пород фундамента Восточно-Европейской платформы (ВЕП). Было также показано, что сходство или различие морфологических показателей кластогенного кварца вендских псаммитов Кваркушско-Каменногорского и Башкирского мегантиклинориев, а также Шкаповско-Шиханской впадины ВЕП и кварца кристаллических пород фундамента, позволяют не только определить принадлежность кварца к тому или иному петротипу пород источника сноса, но и выполнить литологическую корреляцию

стратиграфических подразделений различных геологических структур.

В настоящей работе рассмотрены результаты кластерного анализа морфологических признаков кластогенного кварца вендских псаммитов западного склона Южного и Среднего Урала и Шкаповско-Шиханской впадины. Материалом для исследования послужили различные по петрографическому составу песчаники нижнего и верхнего венда (керноская, байкибашевская, урюкская, кукарская, чернокаменная и другие свиты).

Наиболее полные разрезы венда, объединяющие девять литостратиграфических единиц (свит) известны на Среднем Урале в Кваркушско-Каменногорском мегантиклинории [5, 6, 12]. Нами исследованы морфологические признаки кластогенного кварца керносской свиты серебрянской серии, а также старопечнинской, чернокаменной и усть-сылвицкой свиты сыльвицкой серии.

В разрезах керносской свиты преобладают полевошпато-кварцевые и кварцевые мономиктовые песчаники. В составе каркаса последних присутствуют хорошо окатанный среднезернистый кварц (80–90%), калиевый полевой шпат и кислые плагиоклазы (~5%), обломки пород (2–5%), среди которых основную роль играют кварциты и гнейсы. Цемент песчанников поровый и карбонатно-глинистый.

Старопечнинская свита представлена алевропесчаниками и полевошпато-кварцевыми песчаниками. В алевропесчаниках псаммитовая часть представлена хорошо окатанным средне-мелкозернистым кварцем (75–85%), полевыми шпатами (интенсивно серицитизированные кислые плагиоклазы и редкие зерна ортоклаза и микроклина) – от 10 до 25%, обломками глинистых пород. По данным [7], формирование отложений старопечнинской свиты происходило в обстановках подводных илистых равнин с относительно спокойным гидродинамическим режимом.

В разрезах чернокаменной свиты существенную роль играют полимиктовые песчаники и алевролиты. В каркасе песчанников основная роль принадлежит кварцу (60–70%) и полевым шпатам (20–25%); в переменном количестве наблюдаются мусковит, хлорит, хлоритизированный биотит, фрагменты аргиллитов, кремней, микрокварцитов и

эффузивных пород (10–20%) [6]. Отложения данного уровня венда являются преимущественно мелководно-морскими и прибрежно-морскими образованиями.

Песчаники усть-сылвицкой свиты имеют полевошпато-кварцевый состав. Каркас их состоит из кварца (70–80%), полевых шпатов (10–15%); обломков кристаллических пород (2–5%) – кварцитов, гнейсов, основных эффузивов. Цемент – поровый, местами базальный, гидрослюдистый. Накопление песчаных осадков проходило в обстановках песчаных отмелей и частично в областях подводных дельтовых конусов выноса [7].

На западном склоне Южного Урала, в пределах Башкирского мегантиклинория, отложения венда (ашинская серия) также имеют достаточно широкое развитие и расчленяются в восходящем разрезе на бакеевскую, урюкскую, басинскую, куккарукскую и зиганскую свиты [12].

Урюкская свита представлена преимущественно аркозовыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками. Обломочный материал составляет 60–80%, из которого на кварц приходится (40–60%), полевой шпат (10–35%), обломки пород (1–10%). Цемент песчаников (30–40%) кварцевого, хлорито-кварцевого и хлорито-серицитового состава. По данным Ю.Р. Беккера [4], формирование отложений урюкской свиты происходило в прибрежно-морских и, вероятно, аллювиально-дельтовых обстановках.

Басинская свита, наряду с аргиллитами и алевролитами, включает литокласто-кварцевые, полимиктовые и полевошпат-кварцевые песчаники. Обломочный материал в последних представлен кварцем (60–80%), полевым шпатом (от 5–10 до 25–35%), обломками пород (5–15%). Цемент песчаников (5–25% породы) гидрослюдистый, кварцевый, кварц-карбонатный, железистый, хлоритовый. Это преимущественно отложения мелководно-морского, временами осушавшегося, бассейна [4].

В разрезах куккарукской свиты преобладают конгломераты, а также литокласто-кварцевые, полевошпато-кварцевые и кварцевые песчаники. Каркас песчаников и матрикс конгломератов состоит преимущественно из кварца (40–50%), обломков пород (25–40%), доля полевых шпатов не превышает 5–10%. Формирование отложений куккарукской свиты происходило при активизации тектонических движений в условиях пологой прибрежной равнины, периодически заливавшейся морем и в аллювиально-дельтовых обстановках [4].

На востоке ВЕП в районах прилежащих к Уралу (Верхнекамская, Камско-Бельская и Шкаповско-Шиханская впадины) венд представлен каировской и шкаповской сериями. Каировская серия расчленяется на байкибашевскую и старопетровскую, а шкаповская серия – на салиховскую и карлинскую свиты [12].

Байкибашевская свита сложена преимущественно песчаниками, среди которых присутствуют прослои конгломератов, конгломерато-брекчий, гравелитов и аргиллитов. Песчаники полимиктовые, кварц-полевошпатовые и полевошпат-кварцевые, в основном плохо отсортированные, нередко гравийные. В полимиктовых разностях породообразующими компонентами являются кварц (40–60%), полевые шпаты (10–20%), слюды, хлорит и обломки пород (кварцит, гранит, гранито-гнейс, диорит), также встречается глауконит. Цемент (3–25%) представлен поровым, крустификационным и базальным типами, а по составу является глинистым, гидрослюдистым, хлоритовым, известковистым или известково-глинистым. Условия накопления осадков в бассейне байкибашевского времени были крайне мелководными и соответствовали верхней части шельфа [11].

Параллельно с изучением кластогенного кварца песчаников как эталонные породы петротипа источника сноса исследованы кристаллические породы фундамента (КПФ) Восточно-Европейской платформы, вскрытые скв. Туймазинская 2000. В разрезе данной скважины магматические породы слагают дайки и небольшие массивы в метаморфическом обрамлении. Среди них выделяют биотит-амфиболовые **К-Na гранодиориты**, **биотитовые малокалиевые граниты**, амфиболовые монцодиориты, кварцевые диориты, диориты и габбро-диориты, долериты. Метаморфические породы образованы по интрузивным, а частично по проблематичному субстрату. Они представлены в основном микроклин-содержащими биотитовыми гнейсами и гиперстен-биотит-амфиболовыми плагиогнейсами [10].

Из терригенных пород венда охарактеризованных выше свит и кристаллических пород фундамента ВЕП было отобрано 50–100 зерен кварца. Для каждого из этих зерен инструментально в шлифах определялись сферичность и изометричность. Описывались не затронутые эпигенетическими процессами зерна преимущественной размерности 0.25–0.5 мм. Графики значений сферичности и изометричности для них имеют близкие к нормальному распределению [13], что позволяет в дальнейшем применять линейный коэффициент корреляции.

Методом кластерного анализа можно выявить структуру матрицы корреляции, а также выделить группы связанных между собой объектов через установление бинарных отношений сходства признаков [8, 9]. Для определения меры сходства между признаками объектов их можно представить в виде симметричной корреляционной матрицы порядка $m \times n$. **Это не что иное, как прямое произведение множества M (признаков, объектов), то есть граф.** На основании этой матрицы возможно получение иерархической группировки объектов, представленной в виде дендрограммы. В ней объекты с наивысшим коэффициентом сходства признаков

Таблица 1. Корреляционная матрица морфологических показателей кластогенного кварца вендских псаммитов западного склона Южного и Среднего Урала

	uss	chk	stp	kr	kk	bs	ur	bkb	КПФ
uss	1	-0.073	-0.004	-0.046	0.029	0.251	0.11	0.0964	-0.195
chk	-0.007	1	0.113	0.011	0.07	0.178	0.11	0.276	0.145
stp	-0.117	0.06	1	0.063	-0.14	-0.192	-0.09	-0.231	-0.193
kr	0.22	0.117	0.08	1	0.081	0.049	-0.016	0.34	0.053
kk	-0.0882	0.13	-0.149	0.115	1	0.081	0.144	0.32	-0.0358
bs	0.046	0.272	0.055	0.0007	-0.0001	1	0.08	0.031	0.071
ur	0.05	0.172	0.08	0.04	0.03	0.04	1	0.52	-0.175
bkb	-0.09	0.201	0.031	0.232	0.41	0.1	0.506	1	0.306
КПФ	-0.079	0.029	-0.015	0.227	0.214	-0.057	0.246	0.167	1

Примечание. В верхней части матрицы – коэффициенты корреляции изометричности, в нижней – сферичности; свиты: uss – усть-сылвицкая, chk – чернокаменная, stp – старопечнинская, kr – керноская, kk – кук-караукская, bs – басинская, ur – урюкская, bkb – байкибашевская; КПФ – кристаллические породы фундамента Восточно-Европейской платформы.

размещаются вместе. Данное описание признаков объектов позволяет разделить их на относительно однородные группы – кластеры, где центры показывают наибольшую тесноту связи (сходства) между ними. Довольно часто для этого пользуются мерой линейной связи, например, коэффициентом Пирсона (r). Итогом проведенного исследования является разбиение исходного банка показателей сферичности и изометричности кластогенного кварца на совокупность групп с геологическими связями.

Коэффициенты корреляционной матрицы и дендрограмма сходства (табл. 1, рис. 1) отражают кластеризацию признаков кварца вендских псаммитов западного склона Урала, при этом обнаружива-

ются три четко выделяемые группы. Первую группу образуют показатели сферичности и изометричности кварца псаммитов байкибашевской свиты Шкаповско-Шиханская впадины и урюкской свиты Башкирского мегантиклинория. Между ними наибольшая теснота связи ($r = 0.506–0.52$). Вторую группу формируют морфологические показатели кварца песчаников байкибашевской свиты, кристаллических пород фундамента ВЕП, керносской свиты Кваркушко-Каменуогорского мегантиклинория и куккараукской свиты Башкирского мегантиклинория. Здесь наблюдается умеренная устойчивость связи между объектами в пределах $r = 0.214–0.41$. Третья группа характеризуется низкой устойчивостью связи, куда входят чернока-

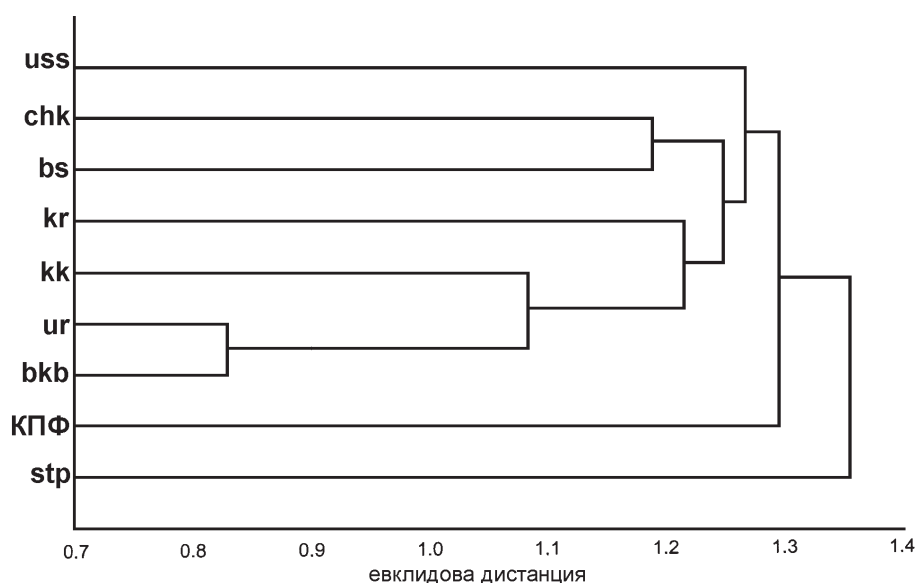


Рис. 1. Дендрограмма морфологических признаков кластогенного кварца вендских псаммитов западного склона Урала.

Расшифровка обозначений – см. примечание к табл. 1.

менская свита сылвицкой серии и различные свиты ашинской серий ($r = 0.201-0.276$).

Между показателями сферичности и изометричности кластогенного кварца песчаников названных выше свит, старопечнинской свиты сылвицкой серии и басинской свиты ашинской серии устойчивых связей не выявлено ($r \leq 0.2$).

В основе полученной нами структуры графа лежит корреляционная плеяда, образованная из нескольких объектов (рис. 2). Ядром графа являются морфологические значения кластогенного кварца байкибашевской свиты. Внешняя часть графа образуется (при наиболее устойчивых связях с ядром) показателями кварца урюкской и кук-караукской свит, а также керносской и чернокаменской свит. Что касается связей периферического (второго) порядка графа, то они отображают единичное, местами слабое сходство, имеющее лишь частичное “подобие” отдельным членам центральной плеяды. Это морфологические показатели кварца кристаллических пород фундамента ВЕП, басинской свитой, усть-сылвицкой и керносской свитами.

Математическая модель морфологических признаков кластогенного кварца, построенная на основании корреляционного и кластерного анализов, показала, что существуют горизонтальные и вертикальные связи между признаками кварца вендских псаммитов западного склона Урала.

Горизонтальные связи, определяемые одним стратиграфическим уровнем свит, достаточно четко отражают устойчивое сходство между морфологическими признаками кварца байкибашевской, урюкской свит и кристаллических пород фундамента ВЕП. Данный результат вполне подтверждает полученный ранее статистическим анализом вывод о преимущественно петрогенной природе квар-

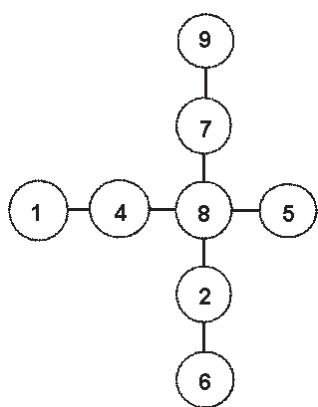


Рис. 2. Граф сходства морфологических показателей кластогенного кварца вендских псаммитов западного склона Урала.

Свиты: 1 – усть-сылвицкая, 2 – чернокаменская, 4 – керноская, 5 – кук-караукская, 6 – басинская, 7 – урюкская, 8 – байкибашевская; 9 – кристаллические породы фундамента Восточно-Европейской платформы.

ца данных свит и, возможно, единообразном/сходном петротипе источника сноса [2, 14].

Анализ вертикальных связей имеет ряд особенностей. Кластеризация, в данном случае, позволяет проследить временные изменения “подобия” морфологических признаков кластогенного кварца изучаемых объектов. Результаты проведенной процедуры кластеризации признаков кварца басинской свиты показали, что практически отсутствует взаимосвязь с другими вендскими свитами. Статистический анализ, проведенный ранее, указывает на существенно петрогенную природу басинского кварца [14]. Данный случай может свидетельствовать, что его источниками могли быть магматические, но не интрузивные породы фундамента Восточно-Европейской платформы.

Кластеризация признаков кварца керносской свиты указывает на его подобие петрогенному кварцу, хотя ранее статистический анализ выявил существенно литогенную природу этого минерала. Было установлено, что кварц керносского уровня является продуктом размыва осадочных пород, в отличие от кварца песчаников чернокаменской и усть-сылвицкой свит, где он преимущественно петрогенный. Однозначного вывода для данного объекта сделать пока нельзя.

Результаты корреляционного и кластерного анализов морфологических признаков кварца песчаников старопечнинской свиты полностью подтверждают данные статистического анализа [14]. Природа зерен кварца данной свиты была установлена нами ранее как литогенная, что находит свое отражение в отсутствие устойчивых связей с другими свитами вендских последовательностей западного склона Урала.

Таким образом, представляется, что метод кластерного анализа морфологических показателей сферичности и изометричности кластогенного кварца разных по петрографическому составу, условиям и времени накопления вендских псаммитов западного склона Урала может вполне достоверно отображать уровень корреляции между разными стратиграфическими объектами, будучи в той или иной мере дополнительным инструментом верификации различных геологических моделей.

Исследования выполнены в рамках интеграционного проекта УрО, СО и ДВО РАН “Реконструкции источников поступления вещества в осадочные бассейны Северной Евразии: обстановки седиментогенеза, потенциальная рудоносность” (09-С-5-1013) и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-05-00279.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анфимов Л.В. Критерии происхождения кластогенного кварца в терригенных породах Западного Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Ура-

- ла. Пермь: ПГУ, 2006. С. 60–62.
2. *Анфимов Л.В.* Сферичность зерен кластогенного кварца из песчаников как индикатор природы источников при формировании осадков этих пород в геологическом прошлом // *Минералогия Урала – 2007*. Миасс-Екатеринбург: ИМин УрО РАН, ИГЗ УрО РАН, 2007. С. 298–300.
 3. *Батулин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.: АН СССР, 1947. 335 с.
 4. *Беккер Ю.Р.* Молассы докембрия. Л.: Недра, 1988. 288 с.
 5. Вендская система. Историко-геологическое и палеонтологическое обоснование. Т. 2. Стратиграфия и геологические процессы / Под ред. Б.С. Соколова и М.А. Федонкина. М.: Наука, 1985. 236 с.
 6. Верхний рифей и венд западного склона Среднего Урала / Б.Д. Аблизин, М.Л. Ключина, Ф.А. Курбацкая, А.М. Курбацкий. М.: Наука, 1982. 140 с.
 7. *Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т.* Строение и этапы формирования вендских отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2009. Т. 17, № 5. С. 1–20.
 8. *Девис Дж. С.* Статистический анализ данных в геологии. М.: Мир, 1977. 571 с.
 9. *Елькин Ю.А.* Применение многомерного кластерного анализа для выявления геохимических особенностей некоторых типов пород рифея Башкирского мегантиклинория // *Геохимия осадочных формаций Урала*. Свердловск: УрО АН СССР, 1987. С. 115–121.
 10. *Маслов А.В., Изотов В.Г., Ишёрская М.В. и др.* Систематика редкоземельных элементов в породах кристаллического фундамента и базальных горизонтов рифея Волго-Уральской области // *Георесурсы*. 2008. № 1. С. 36–40.
 11. *Маслов А.В., Ишёрская М.В.* Осадочные ассоциации рифея Волго-Уральской области (условия формирования и литофациальная зональность). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1998. 286 с.
 12. Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области / Объяснительная записка. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2000. 81 с.
 13. *Ялышева А.И.* Геологическая информативность морфогенетических показателей кластогенного кварца из базальных терригенных толщ Башкирского мегантиклинория // *Ежегодник-2008*. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 156. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2009. С. 199–203.
 14. *Ялышева А.И.* Типоморфизм кластогенного кварца из докембрийских отложений Южного и Среднего Урала // *Литосфера*. 2010. № 1. С. 64–83.
 15. *Folk R.L.* Petrology of sedimentary rocks. Austin, Texas: Hemphill Publishing Company, 1980. 190 p.