

## МОРФОЛОГИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ЗРЕЛОСТЬ ПЕСЧАНИКОВ ТУКАЕВСКОЙ (ВОЛГО-УРАЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ЗИГАЛЬГИНСКОЙ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) СВИТ СРЕДНЕГО РИФЕЯ

© 2015 г. А. И. Ялышева, Н. Д. Сергеева\*

В настоящее время выделяются несколько видов зрелости осадочного вещества, например минералогическая (минеральный состав пород [8], тяжелой фракции [21]); химическая [Nesbitt, Young, 1982], морфологическая/структурная [2].

Минералогическая зрелость согласно А.Г. Косовской, заключается в "... *обогащении его (осадка) устойчивыми минералами за счет разрушения и исчезновения нестойких компонентов ...*" [8, с. 158]. Чем выше содержание кварцевых зерен, тем выше степень минералогической зрелости. Функцию индикатора зрелости тяжелой фракции осадка выполняет ZTR-индекс<sup>1</sup>. Самые высокие значения этого индекса (65–90%), отражающие наибольшую степень зрелости тяжелой фракции, фиксируются в мономиктовых кварцевых песчаниках. В граувакках значения индикатора может составлять от 10–15 до 30%. Для аркозов характерны величины в среднем от 30 до 60%. [20, 21]. В качестве критерия морфологической зрелости осадков может быть использован морфометрический подход Л.В. Анфинова [1, 16, 17]. Чем больше доля литогенного/рециклированного кварца, тем выше степень зрелости песчаников. Кроме того, для изучения морфологической зрелости терригенных пород возможно использование особенностей внешнего облика цирконов [19]. Таким образом, в результате применения различных методов и подходов появляется возможность довольно надежно охарактеризовать зрелость осадочных образований.

Соотношение морфологии детритовых цирконов и степени зрелости песчаников рассматривается нами на примере тукаевской (Камско-Бельский авлакоген в Волго-Уральской области) и зигальгинской (Башкирский мегантиклинорий на Южном Урале) свит среднего рифея, распространение отложений которого показано на рис. 1.

В статье используются Стратиграфические схемы Уральского стратотипа рифея и платформенных разрезов Волго-Уральской области [13] с до-

полнениями и изменениями, внесенными в последние годы В.И. Козловым [6], Н.Д. Сергеевой и В.Н. Пучковым [11]. В этих стратиграфических схемах тукаевская свита серафимовской серии Камско-Бельского авлакогена Волго-Уральской области рассматривается как возрастной аналог зигальгинской свиты юрматинской серии стратотипа рифея Южного Урала.

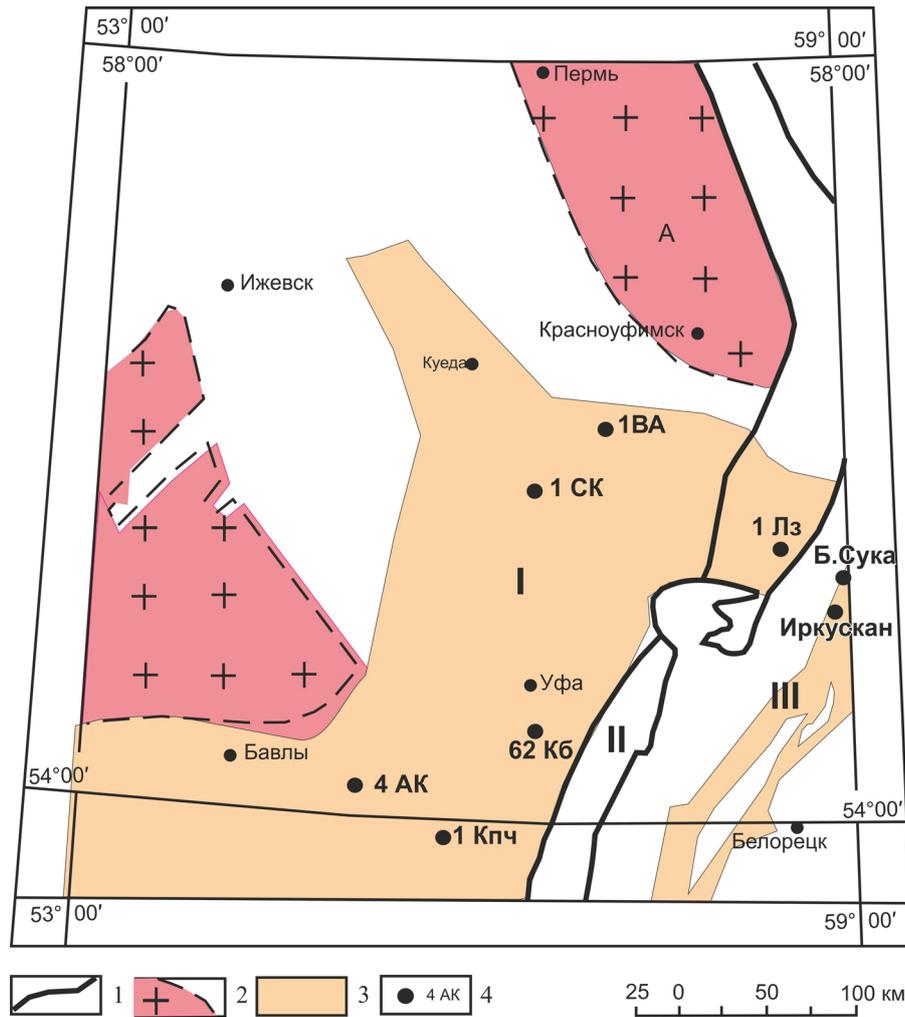
Тукаевская свита (RF<sub>2</sub>tk) представлена преимущественно песчаниками, менее распространены алевролиты и аргиллиты. Песчаники кварцевые, реже полевошпат-кварцевые и аркозовые, разнотернистые (преобладают мелко- и среднетернистые), пестроцветные (розовато- и красновато-коричневые, реже светло- и зеленовато-серые), массивные, участками косослоистые. Отложения свиты вскрыты многочисленными скважинами в Волго-Уральской области, но стратиграфически полные и наиболее мощные разрезы находятся в центральной части Камско-Бельского авлакогена, где пройдены полностью скважинами Аслыкульская 4, Кипчакская 1 и Кабаковская 62 (рис. 2). Отложения этой свиты были опробованы также в скважинах Северо-Кушкульская 1, Восточно-Аскинская 1 и Леузинская 1.

Специфический состав и облик тукаевских песчаников остается почти неизменным во всех скважинах, пробуренных в Волго-Уральской области, поэтому эти песчаники являются прекрасным литологическим маркером. Мощность свиты достигает 630 м [3].

Зигальгинская свита (RF<sub>2</sub>zg) сложена преимущественно кварцевыми песчаниками и их кварцитовидными разностями, с прослоями и пачками алевролитов и глинистых сланцев. Зигальгинские песчаники устойчивы к эрозии, хорошо обнажены и являются одними из лучших маркеров в рифее Южного Урала. Свита расчленяется [13] на три подсвиты, из которых нижняя и верхняя сложены кварцевыми и кварцитовидными песчаниками, а средняя глинистыми и углеродисто-глинистыми сланцами с прослоями кварцевых алевролитов и песчаников. В Тараташском антиклинории и на западном крыле Ямантауского зигальгинская свита залегает с разрывом на подстилающих нижнерифейских отложениях, а на восточном крыле Ямантауского и в Маяр-

\* Институт геологии УНЦ РАН, г. Уфа.

<sup>1</sup> ZTR-индекс – рассчитывается как отношение суммы зерен циркона, турмалина и рутила к сумме непрозрачных (фемических) акцессорных минералов [20, 21 и др.].



**Рис. 1.** Схема распространения отложений среднего рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и расположение скважин [6].

1 – границы структур первого порядка, 2 – выступы кристаллического фундамента, 3 – площадь распространения отложений среднего рифея, 4 – местоположение скважины, ее номер и название (4 АК – Аслы-Кульская, 1 ВА – Восточно-Аскинская, 1 Кпч – Кипчакская, 1 СК – Северо-Кушкульская, 62 КБ – Кабаковская, 1 Лз – Леузинская). I – **восточная окраина** Восточно-Европейской платформы (Волго-Уральская область), II – Предуральский краевой прогиб, III – Уральская складчатая система.

дакском антиклинориях связана с подстилающими образованиями машакской свиты постепенным переходом. Мощность 250–400 м [14].

Изучение минералогической зрелости тукаевских песчаников было проведено на материале керн скважин: Аслы-Куль 4 (отметки 3491, 3390, 3493 и 3445 м), Кабаково 62 (в интервале глубин 5290–5291, 5252–5254, 5037 и 4835–4837 м), Кипчак 1 (в интервале глубин 4848–4850, 5130–5132 и 5028–5030 м), Северо-Кушкуль 1 (в интервале глубин 3371–3374 м), Восточно-Аскинская 1 (глубина 2608 м) и Леузинская 1 (глубина 5124.8 м). Изученные песчаники зигальгинской свиты были отобраны в разрезах Иркутсканского и Петлинского карьеров Бакальского рудного поля, а также в районе хр. Бол. Сука.

Цирконы были исследованы из отложений керн скважин Кабаково 62 (глубина 5252.6 м), Восточно-Аскинская 1 (глубина 2608 м) и Леузинская 1 (глубина 5124.8 м), а также Иркутсканского карьера и хр. Бол. Сука. Кристаллы (0.1–0.5 мм) были отобраны случайным образом под биноклем из тяжелой фракции проб-протолок. Количество зерен около 20 для каждой точки отбора образцов. Типология формы приведена в соответствии с классификацией А.А. Кухаренко [10].

Изучение микроморфологии и состава поверхностных образований проведено с помощью сканирующего электронного микроскопа GEOL jsm-6390lv с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 (аналитик С.П. Главатских, ФХМИ ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург). Для иден-

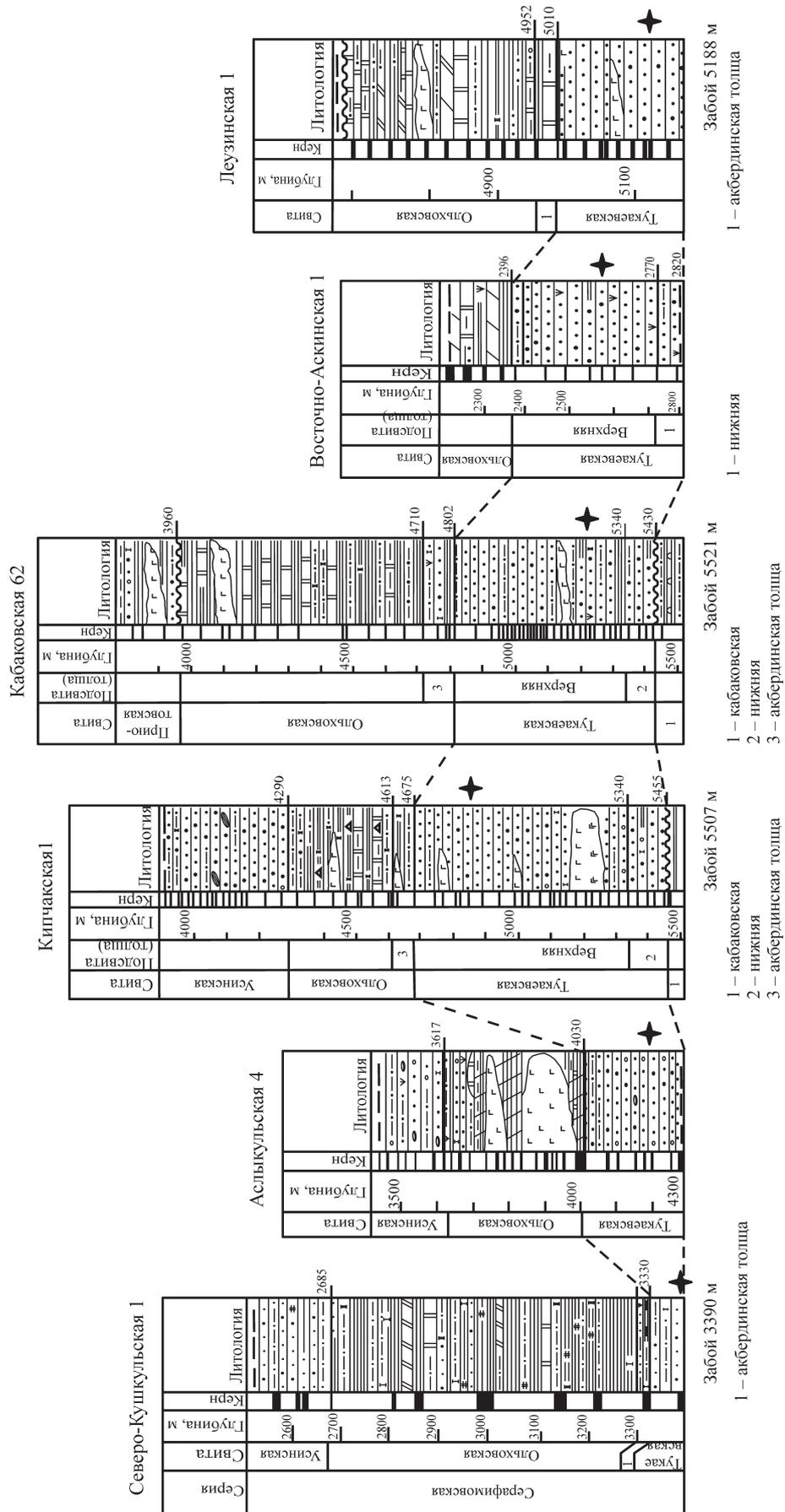
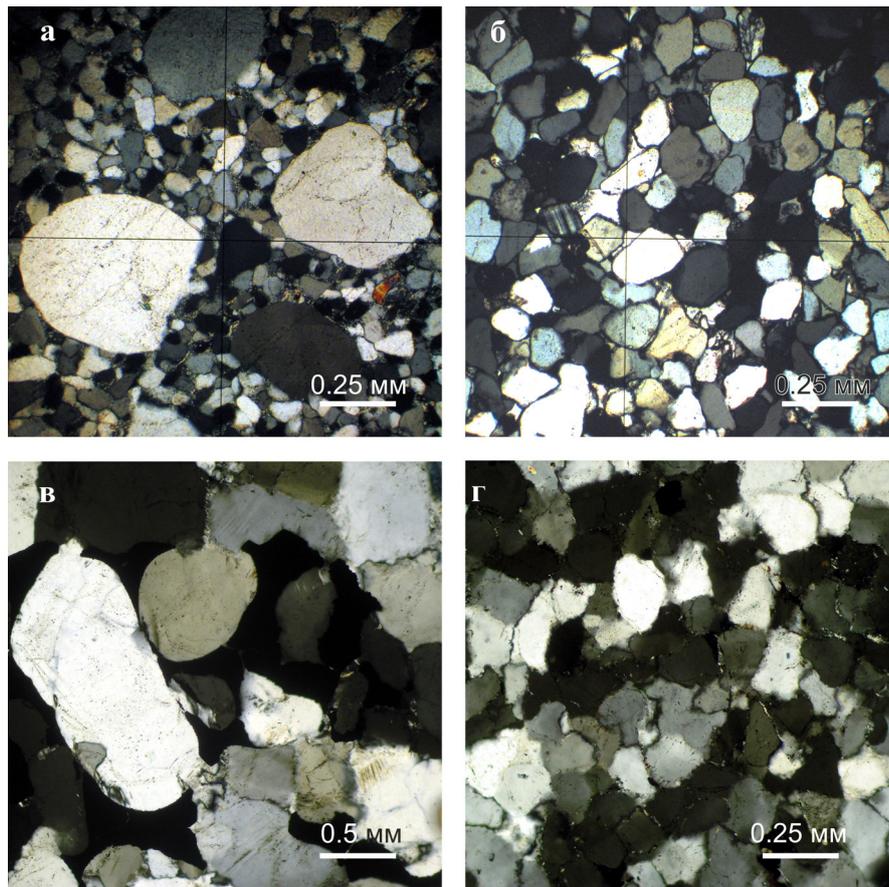


Рис. 2. Разрезы среднерифейских отложений в скважинах Волго-Уральской области [7].

Звездочкой обозначены места отбора проб в разрезе.



**Рис. 3.** Песчаники среднерифейского возраста тукаевской (а – скв. Аслы-Куль 4, б – скв. 62 Кабаково) и зигальгинской (в – Иркутскан, г – хр. Бол. Сука) свит.

тификации элементов микроморфологии и их генетической интерпретации использованы данные [18, 19].

Песчаники *тукаевской свиты*, согласно классификации В.Д. Шутова [15], относятся к полевошпат-кварцевым и монокристовым кварцевым разностям (рис. 3а, б). Основная часть кластогенных компонентов представлена кварцем (70–90%), полевыми шпатами (5–8%), среди которых преобладают калиевые разности (микроклин), реже встречаются плагиоклазы (зональный альбит). Обломки пород (~5%) представлены преимущественно кварцитами и филлитами. Второстепенную роль играют мусковит и биотит. Среди акцессорных минералов преобладает циркон, встречаются также апатит, турмалин, рутил, сфен, редко гранат, магнетит, пироксен и хромшпинелиды. Цемент поровый, базальный и пленочный железистого, железисто-серицитового, железисто-доломитового и серицитового состава. Иногда можно встретить тонкие агрегаты глауконита. Местами развита коррозия зерен кварца и полевых шпатов.

Исследованные породы *зигальгинской свиты*, согласно генетической диаграмме В.Д. Шутова [15], могут быть отнесены к средне- и мелко-

зернистым монокристовым кварцевым песчаникам (рис. 3в, г), которые почти целиком состоят из кварца (95–98%). В незначительном количестве присутствуют обломки микрокварцитов и полевых шпатов. Среди других компонентов песчаников можно наблюдать аутигенные серицит и хлорит, а также единичные зерна акцессорных минералов – циркона, турмалина, граната, рутила и апатита. Цемент песчаников составляет 5–10% объема породы и представлен регенерационным кварцевым и серицито-хлоритовым типами, местами обнаруживается грануляция (начальная стадия), очень редко наблюдаются поровый гидрослюдистый цемент. Некоторые зерна имеют регенерационную оторочку, в составе которой кроме кварца присутствуют серицит и гидроокислы железа.

А.А. Кухаренко [10] выделял несколько морфологических типов цирконов. По его данным, цирконовый призматический тип с развитием призмы {110} и дипирамиды {111}, иногда в комбинациях {100}, {131}, {211} наиболее часто встречается в сиенитах и граносиенитах, габбро, перидотитах и пироксенитах. Для таких цирконов показатель анизотричности/удлинения редко превышает значения 1.5–2.0. В гранитах и связанных с ними жиль-

ных породах наиболее часто можно встретить гиацинтовый тип цирконов, для которых характерна комбинация основной дипирамиды {111} и призмы {110}, но с преобладающим развитием грани {100}, значения показателя удлинения высокие (до 5.0). Изометричный морфотип цирконов тоже характерен для гранитов. Он обладает приблизительно одинаковым развитием тетрагональных призм, граней основной дипирамиды. Для цирконов гранулитовых комплексов наиболее характерны кристаллы изометричные или округлые [9]. Их описывают как “многоплоскостные сферические”, изометричные многогранные или в форме “футбольного мяча” [5, 9, 24]. Впервые на Урале такие кристаллы были обнаружены А.А. Краснобаевым в гранулитах тараташского комплекса. По данным [18], кристаллы циркона, обладающие формой “иглы” с показателями удлинения более 4–5, характерны для порфириковых субвулканических пород, где кристаллизация происходит очень быстро. Такие кристаллы могут обладать гранями {101} и {100}.

Систематическое исследование морфологии циркона нашло свое отражение в широко используемой “диаграмме Пупина” [23], в которой кристаллы классифицируются в соответствии с развитием зависимости призматических форм {100} и {110} и пирамидальных кристаллических форм {211} и {101}. Однако следует заметить, что данная классификация не всегда применима для детритовых цирконов, которые часто окатаны или расколоты, и поэтому элементы граней могут быть уничтожены абразией.

Перечисленные морфотипы могут быть использованы и для установления генезиса цирконов из песчаников тукаевской и зигальгинской свит, где было выявлено несколько морфологических разностей.

Так, бледно-розовые и розовые цирконы тукаевской свиты из скв. Кабаковская 62 и розовые цирконы скв. Восточно-Аскинская 1 (рис. 4а–г) чаще всего обладают (согласно классификации А. Гартнера с соавторами [19]) полуугловатым (~70–80%) и округленным изометричным (~20–30%) обликом. Среди них довольно много удлиненных и призматических/“цирконового” типа кристаллов, но отчетливо различимых граней обнаружить не удалось (рис. 4в). В среднем эти зерна обладают довольно высоким показателем удлинения, порядка 3–5. Некоторые из них несут следы сколов и выемок. В отдельных случаях можно наблюдать текстуры отщепления. Хемогенные текстуры представлены редко, новообразований на поверхности зерен не обнаружено.

Несколько иной морфологией обладают зерна розовых цирконов из тукаевских песчаников скв. Леузинская 1. В пробах чаще всего встречаются кристаллы гиацинтового облика с хорошо выраженными гранями {110}, {111}, {100} и высокими значениями показателя удлинения (более 4.0). Не-

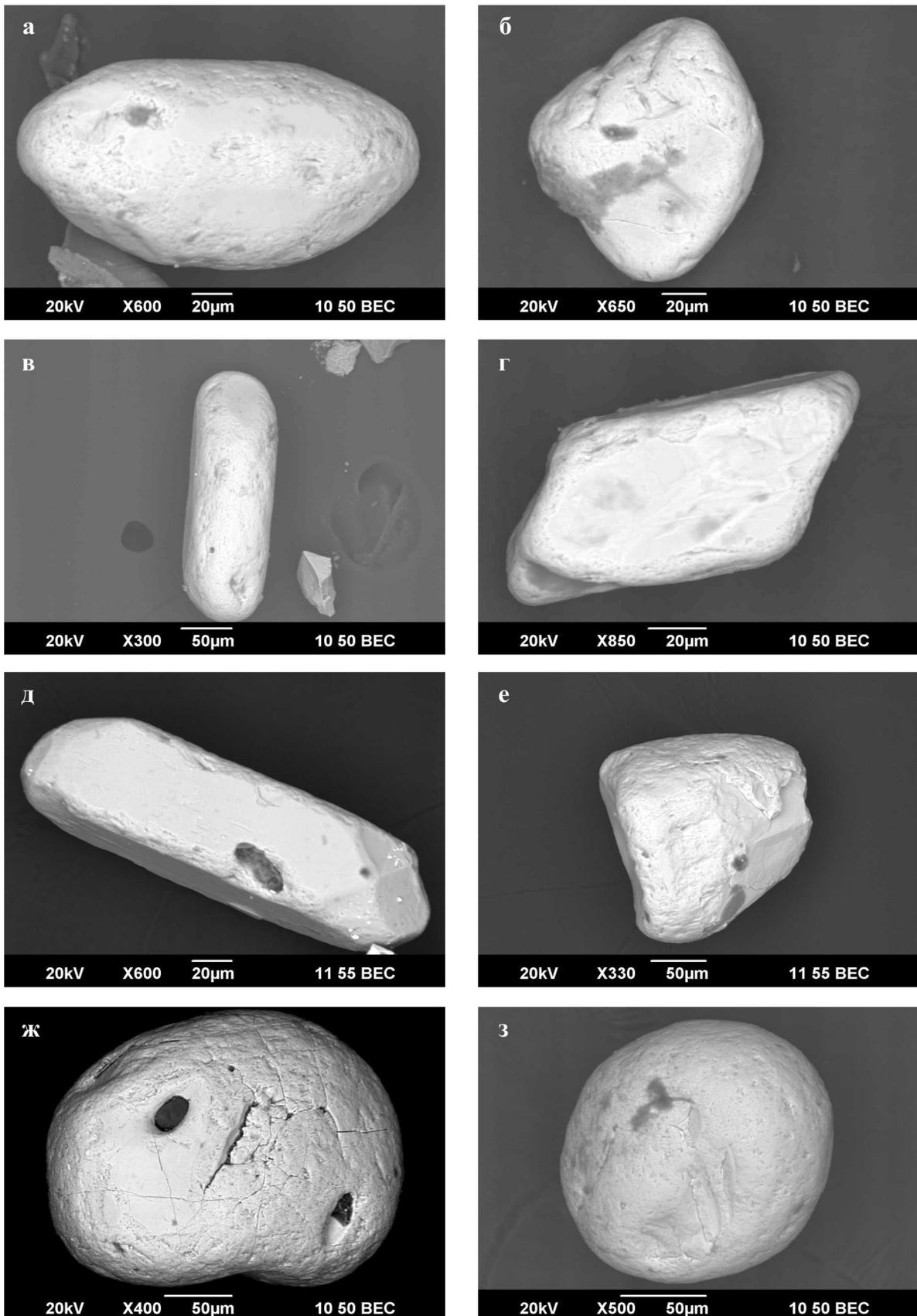
сколько реже можно обнаружить полуугловатые изометричные и призматические зерна. Их поверхность шершавая, корродированная, на некоторых зернах весьма обильно развита сеть трещинок, расположенных субпараллельно наибольшей оси зерна (рис. 4д). Из включений чаще всего встречаются зернышки торита размером меньше 1 мкм (см. рис. 4д, е), которые не приурочены к каким-либо определенным поверхностным текстурам. В виде корочек или небольших кристалликов был зафиксирован барит. В целом зерна этих цирконов обладают кристаллографическим обликом, практически не затронуты абразией. Сохранились также сростки цирконов с торитом. Подобные типы кристаллов нами не были встречены в тукаевских песчаниках скв. Восточно-Аскинская 1 и Кабаково 62. Кроме того, в отложениях скв. Леузинская 1 был установлен короткопризматический иттербиевый апатит, не встреченный в других скважинах.

Среди малиновых цирконов из песчаников зигальгинской свиты из карьера Иркутскан встречаются зерна преимущественно хорошо округленной и реже угловатой (с реликтами граней) формы. Содержание таких зерен составляет ~80–90%. Среди округленных зерен чаще всего встречаются таковые изометричного облика. Поверхность их весьма шершавая, со следами химического травления/корродированная, часто покрыта корочкой аморфного вещества с кавернами. На некоторых зернах имеются тонкие пленочки растворения и участки перекристаллизации циркона в бадделит. Кроме текстур хемогенного генезиса были обнаружены ровные механогенные сколы. Некоторые зерна несут включения барита, например, на рис. 4ж видно небольшой кристаллик ромбического облика размером ~5 мкм. Данный вид включения связывается нами с тем, что довольно близко от места отбора проб фиксируются баритовые прожилки в анкеритах ниже залегающей бакальской свиты нижнего рифея.

Малиновые цирконы были также отобраны в разрезах зигальгинской свиты хр. Бол. Сука, но они имеют ряд микроморфологических особенностей. В отличие от зерен из карьера Иркутскан здесь были установлены цирконы очень хорошо округленные, несущие на поверхности глубокие катаглифы, и трещины, заполненные кварцслюдистым материалом и глобулярным аморфным ксенотимом (рис. 4з).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как было установлено ранее [16, 17], основные показатели значений сферичности ( $\phi$ ) и изометричности ( $\Upsilon$ ) кварцевой кластики зигальгинской и тукаевской свит практически идентичны. В песчаниках зигальгинской свиты медианное значение этих показателей следующее:  $\phi = 0.633 \pm 0.136$  и



**Рис. 4.** Морфология зерен цирконов из песчаников тукаевской и зигальгинской свит.  
 Скв.: а, б – Кабаково 62; в, г – Восточно-Аскинская 1; д, е – Леузинская 1; ж – Иркутскан; з – хр. Бол. Сука.  
 ЕЖЕГОДНИК-2014, Тр. ИГГ УрО РАН, вып. 162, 2015

**Таблица 1.** Показатели зрелости песчаников тукаевской и зигальгинской свит

Свита	Место отбора образцов	Кварц	ZTR-индекс, %	Акцессорно-минеральные ассоциации	Тип цирконов
Тукаевская	Центральная часть КБА, скв. Кабаково 62	Литогенный	87.97	Рутил-апатит-циркон-турмалиновая	Розовый, бледно розовый, иногда почти бесцветный, округленные и полуокругленные изометричные зерна без видимых граней Бледно-розовые зерна призматического цирконового и гиацитинового типов
	Северная часть КБА, скв. Восточно-Аскинская 1	—	93.26	Рутил-циркон-апатит-турмалиновая	
	Северо-восточная часть КБА, скв. Леузинская 1	—	82.06	Апатит-циркон-турмалиновая	
Зигальгинская	Юго-восточная часть БМА, Кургасская антиклиналь, хр. Базал	—	98.53	Существенно цирконовая	Розовые изометричные зерна  Темно-розовые и малиново-красные изометричные очень хорошо округленные зерна
	Северо-западная часть БМА, Иркутскан, хр. Бол. Сука	—	70.21		

Примечание. В ассоциации курсивом выделены руководящие минералы. БМА – Башкирский мегантиклинорий, КБА – Камско-Бельский авлакоген.

$Y = 0.703 \pm 0.155$ , а в песчаниках тукаевской свиты –  $\varphi = 0.642 \pm 0.214$  и  $Y = 0.766 \pm 0.17$ . На основании данных морфометрии было выявлено, что кварцевая кластика базальных уровней среднего рифея Башкирского мегантиклинория и Камско-Бельского авлакогена состоит из литогенного/рециклированного материала. В пользу неоднократного рециклинга и вызревания материала песчаников зигальгинской и тукаевской свит свидетельствует также их мономиктовый кварцевый состав [16, 17].

Практически идентичны для тукаевских и зигальгинских песчаников рассчитанные показатели ZTR-индекса (см. табл. 1). В среднем эти значения составляют не менее 80%, что, согласно данным [21], указывает на очень высокую степень зрелости тяжелой фракции, в которой отсутствуют практически все нестойкие минеральные компоненты.

Несколько иначе обстоит дело с показателями морфологии цирконов. Зерна этого минерала из кварцевых псаммитов тукаевской свиты (скв. Кабаковская 62 и Восточно-Аскинская 1), вероятнее всего, поступали из магматических и метаморфических пород (гранитов, гнейсов и гранитогнейсов). При этом некоторые зерна из отложений вскрытых в скв. Кабаковская 62 несут следы абразии, сколы и выемки механогенного происхождения (рис. 4б).

Практически все зерна цирконов из зигальгинских песчаников обладают хорошо округленной или округленной формой, часто их поверхности несут следы механогенной обработки, что, в свою очередь, позволяет предположить, что, как и кварцевые зерна, они претерпели неоднократное переотложение.

Цирконы из мономиктовых кварцевых песчаников скв. Леузинская 1 имеют несколько иные черты морфологии. Среди них преобладают зерна гиацитинового и цирконового кристаллографического

облика, что может свидетельствовать о формировании отложений в основном за счет непосредственного размыва гранитоидных пород и довольно быстрое захоронение продуктов размыва.

Различия в морфологических особенностях цирконов рассматриваемых регионов свидетельствуют о том, что при формировании песчаников тукаевской свиты северных и северо-восточных районов Волго-Уральской области (скв. Леузинская 1 и Восточно-Аскинская 1) значительную роль могли играть кристаллические породы фундамента и происходило довольно быстрое захоронение осадка. Для песчаников тукаевской свиты центральных районов Волго-Уральской области (скв. Кабаково 62) и сопоставляемых с ними зигальгинских отложений Башкирского мегантиклинория основными источниками обломочного материала были осадочно-метаморфические породы.

Полученные ранее данные по акцессорным минералам в целом [12] также свидетельствуют о разных источниках сноса при формировании отложений среднего рифея Волго-Уральской области и Башкирского мегантиклинория.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анфимов Л.В.* Критерии происхождения кластогенного кварца в терригенных породах Западного Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: ПГУ, 2006. С. 60–62.
2. *Бергер М.Г.* Терригенная минералогия. М.: Недра, 1986. 227 с.
3. Верхний докембрий восточных районов Татарстана и перспективы его нефтегазоносности / В.И. Козлов, Р.Х. Муслимов, Н.С. Гатиятуллин и др. / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1995. 218 с.
4. Верхний докембрий южного обрамления Красно-

- уфимского выступа кристаллического фундамента / В.И. Козлов, Р.Х. Масагутов, И.Н. Ахметшин, В.Н. Пучков, Т.В. Иванова, Н.Д. Сергеева. СПб.: Недра, 2000. 336с.
5. *Каулина Т.В.* Образование и преобразование циркона в полиметаморфических комплексах: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук Апатиты, 2011. 38 с.
  6. *Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д.* Новая схема расчленения разреза параметрической скважины 1 Кулгунинская (Южный Урал). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. 60 с.
  7. *Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Генина Л.А., Михайлов П.Н.* О строении тукаевской свиты среднего рифея Камско-Бельского авлакогена // Геология и перспективы решения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. Т. 1. Вопросы геологии, геологические памятники, геоэкология. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2001.
  8. *Коссовская А.Г.* Минералогия терригенного мезозойского комплекса Вилюйской впадины и западного Верхоянья. М.: АН СССР, 1962. 204 с.
  9. *Краснобаев А.А.* Циркон как индикатор геологических процессов. М.: Наука, 1986. 134 с.
  10. *Кухаренко А.А.* Минералогия россыпей. М.: Госгеолтехиздат, 1961. 317 с.
  11. *Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Сергеева Н.Д.* Новое в стратиграфии стратотипического разреза рифея // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы ее обустройства: мат-лы Всерос. конф. М.: ГИН РАН, 2013. С. 70–72.
  12. *Сергеева Н.Д.* Сопоставление отложений среднего рифея западного склона Южного Урала и востока Русской плиты по аксессуарным минералам // Ежегодник ИГ УНЦ РАН-1994. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1995. С. 26–27.
  13. Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области: Объяснительная записка / Сост. Е.М. Аксенов, В.И. Козлов. Уфа. 2000. 91 с.
  14. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология / Отв. ред. Б.М. Келлер, Н.М. Чумаков. М.: Наука, 1983. 184 с.
  15. *Шутов В.Д.* Классификация песчаников // Литология и полез. ископаемые. 1967. № 5. С. 86–103.
  16. *Ялышева А.И.* Типоморфизм кластогенного кварца из докембрийских отложений Южного и Среднего Урала // Литосфера. 2010. № 1. С. 64–83.
  17. *Ялышева А.И.* Индикаторы зрелости кластики докембрийских отложений Башкирского мегантиклинория и приуральской части Восточно-Европейской платформы // Приоритетные и инновационные направления литологических исследований: мат-лы 9-го Уральского литолог. совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2012. С. 202–204.
  18. *Corfu F., Hancher J. M., Hoskin P. W.O., Kinny P.* Atlas of zircon textures // Rev. Mineral. Geochem. 2003. V. 53. P. 469–500.
  19. *Gartner A., Linnemann U., Sagawe A., Hofmann M., Ulrich B., Kleber A.* Morphology of zircon crystal grains in sediments – characteristic, classifications, definitions // J. Centr. Europ. Geol. 2013. V. 59. P. 65–73.
  20. *Garzanti E., Ando S.* Heavy mineral concentration in modern sands: implications provenance interpretation // Heavy minerals in use. L.: Elsevier, 2007. P. 517–546.
  21. *Hubert J. F.* A zircon-tourmaline-rutile maturity index and the interdependence of the composition of heavy mineral assemblages with the gross composition and texture of sandstones // J. Sediment. Res. 1962. V. 32. No. 3. P. 440–450.
  22. *Nesbitt H.W., Young G.M.* Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
  23. *Pupin J.P.* Zircon and granite petrology // Contrib. Miner. Petrol. 1980, No. 73. P. 207–220.
  24. *Vavra G.A.* guide to quantitative morphology of accessory zircon // Chem. Geol. 1993. No. 110. P. 15–28.