



ЛЕНСКИЕ ТРОВАНТЫ: ГИПОТЕЗА И МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ

Г. С. Федосеев¹, Д. Ю. Большаянов²¹Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; ²Арктический и антарктический НИИ Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Санкт-Петербург, Россия

В обрывистых берегах р. Лена и ее притоков давно известны находки необычных конкрециевидных образований. Установлена их принадлежность к категории тровантов. Показано, что тровантообразование (тровантогенез) является процессом специфической трансформации в разной степени сцементированных песков в условиях платформенных и субплатформенных обстановок. Подтверждена высказанная румынскими геологами гипотеза о псевдоконкреционной природе тровантов. Предложена аквадиссипативная модель их генезиса. Обсуждается вариант генетической систематики малых геологических тел, в которой трованты отнесены к консистентному типу.

Ключевые слова: ленские трованты, пески, псевдоконкреции, пошаговая модель, шаровые формы, памятники природы.

TROVANTS OF THE LENA RIVER: HYPOTHESIS AND FORMATION MODEL

G.S.Fedoseev¹, D.Yu.Bolshiyarov²¹V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; ²Arctic and Antarctic Research Institute of Russian Federal Service for Hydrometeorology and environmental monitoring, Saint Petersburg, Russia

Unusual nodule formations have long been known in the steep banks of the Lena River and its tributaries. Their belonging to the category of Trovants (trovantogenesis) has been established. It is shown that trovants formation (trovantogenesis) is a process of specific transformation of cemented sands to varying degrees in platform and sub-platform environments. The hypothesis expressed by Romanian geologists about the pseudo-concretionary nature of the trovants has been confirmed. The aqua-dissipative model of their genesis is proposed. The variant of genetic classification of small geological bodies wherein trovants are classified as a consistent type is discussed.

Keywords: trovants of the Lena River, sands, pseudoconcretions, step-by-step model, spherical forms, natural monuments.

DOI 10.20403/2078-0575-2021-4-97-112

Конкреции и конкрециевидные образования поражают вариативностью минерального и породного состава, разнообразием форм и композиций, а также необычностью условий нахождения. Они встречаются поодиночке и группами в отдельных слоях осадочных и других горных пород. Многие из них привлекают к себе внимание совершенством форм, необычайностью внутреннего строения, а кроме того, экстравагантностью «свойств» и разнообразием генетических гипотез, что нередко служит источником бурных фантазий. Термин «конкреция» обычно применяется для стяжений в осадочных породах, однако внешне похожие на них текстуры известны и в других группах (глобули, сферолиты, минглинги, хондриты и т. п.). Это прекрасный материал для коллекционирования и музейных экспозиций. Общеизвестно также их применение для ландшафтного дизайна: природные парки, достопримечательности на оживленных трассах, облагораживание фасадов зданий, садов и усадеб. Более того, необычные по форме трованты могли служить источником вдохновения для скульпторов модернистского стиля [18]. При структурно-геологическом картировании слои с конкрециями нередко выбирают в качестве маркирующих горизонтов, а скопления отдельных их типов (фосфоритовых, железисто-марганцевых

и др.) в будущем могут стать объектами промышленной добычи. Поэтому по конкрециям уже накоплена огромная литературная база – десятки монографий, материалы тематических конференций и совещаний [1, 10 и др.]. В классических учебниках конкрециям посвящены специальные разделы. А вот по тровантам (так называемым живым камням) имеются лишь единичные научные публикации, хотя Интернет пестрит анонимными статьями о необычных свойствах представителей «неорганической формы жизни», что граничит уже с паранормальным толкованием. С научной точки зрения все гораздо прозаичнее: необходимо придумать очередную гипотезу и модель образования для специфической категории геологических тел. Термин «тровант» (trovanții) предложен Г. Мурочи более века назад, однако в его монографии, посвященной нерудным полезным ископаемым Олтении (Румыния) с большим количеством информативных иллюстраций этимология слова не раскрывается: он традиционно отнес трованты к конкрециям и без комментариев назвал немецким термином «Sandsteinkonkretionen» (песчаниковые конкреции) [24, p. 57, fig. 46].

Издавна трованты считались достопримечательностью Румынии, и поэтому создание коллекции уникальных экспонатов в музее под откры-

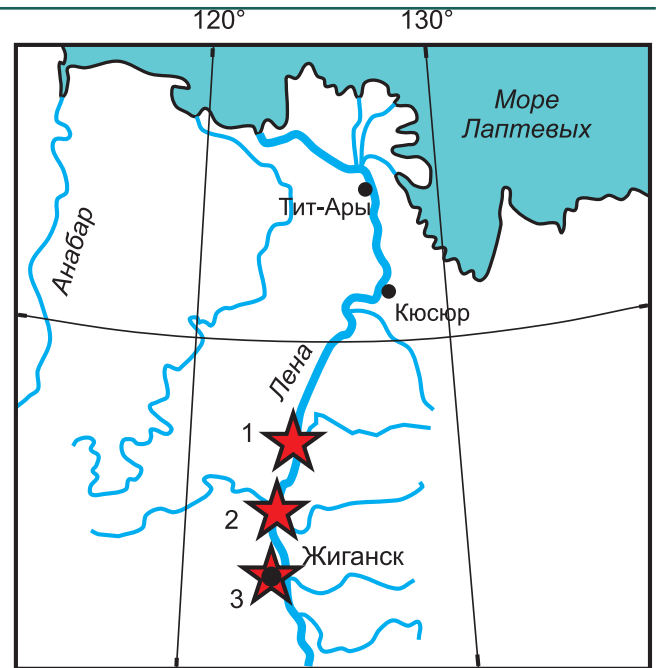
тым небом в селении Костешты (местность Вилче, близ г. Рымнеку), привлекающих внимание тысяч туристов, любителей уникальных памятников природы, вполне закономерно. Однако со временем стало понятно, что трованты распространены гораздо шире. Они были обнаружены в Аргентине, Боснии, Израиле, Испании, Казахстане, Китае, России, Франции, Чехии и других странах, но в большинстве случаев их продолжают отождествлять с конкрециями. В данном качестве они известны и в России, причем к этой же категории отнесены так называемые наплывные («фигурные») песчаники, встреченные в песчаных карьерах Рязанской (д. Малый Пролом), Кировской (р. Большой Ацвеж), Московской (с. Коломенское) и других областях [6, 8, 14, 16]. Геологический возраст вмещающих их толщ укладывается в диапазон от перми до палеогена.

В данной статье обсуждаются результаты изучения сибирских тровантов, ставших известными благодаря работам геологов-съемщиков и сотрудников краеведческих музеев, а также регулярным иллюстрированным отчетам в Интернете неутомимых путешественников (С. Карпухин, Ю. Прокофьев, А. Урицк и др.), что свидетельствует об актуальности изучения некогда загадочных природных объектов, привлекательных с точки зрения туризма, практики и науки.

Геологическая обстановка

Обнажения с тровантами находятся в нижнем течении р. Лена и располагаются в мезозойских терригенных отложениях (рис. 1). Пространственно они тяготеют к алевролитопесчаным толщам и обычно ассоциируют с кварцитовидными, кварцполевошпатовыми и кварцевыми песчаниками. Результаты палеофациального и палеонтологического изучения свидетельствуют о наличии здесь прибрежной зоны единого осадочного палеобассейна [18]. В основном это отложения нескольких юрских свит, выделяемых в пределах Жиганской фациальной зоны внутри Алдано-Жиганской континентальной области [3].

Суммарная мощность юрских отложений не ниже 600 м. Характерные их особенности – относительная монотонность состава, увеличение количества алевролитопесчаного и песчаного материала вверх по разрезу, а также меняющаяся от слоя к слою и от места к месту внутри одного слоя степень диагенетической проработки песков. Многие исследователи подчеркивают низкую тектоническую активность при седиментогенезе. Разрез начинается с нижнеюрской моторчунской свиты (мощность 100–290 м), сложенной песчано-алевролитоглинистыми породами. На ней несогласно залегает ранне-среднеюрская сунтарская свита, представленная черными и темно-серыми битуминозными глинами и аргиллитами с линзами гравийногалечного материала в подошве. Выше находятся



№	Долгота восточная	Широта северная	Посёлок, устье реки
1	124°02'40,0"	68°53'22,2"	Джарджан
2	124°19'38,6"	68°01'58,0"	Менкере
3	123°22'47,4"	66°46'25,6"	Жиганск

Рис. 1. Береговые обнажения в нижнем течении р. Лена 1 – трованты-1 (устье р. Джарджан); 2 – трованты-2 (в 2,8 км ниже устья р. Менкере); 3 – кварцитовидные песчаники (устье р. Нуора, пос. Жиганск)

кыстатымская и хоронгская свиты. Первая состоит из глинисто-песчаных отложений, ее мощность в стратотипе (мыс Кыстатымский в правобережье р. Лена) изменяется от 150 до 210 м. Хоронгская свита, среднеюрский возраст которой обоснован комплексом аммоноидей и двустворчатых моллюсков, представлена толщей прибрежно-морских песчаных пород, главным образом светло-серыми мелкозернистыми известковистыми песчаниками со знаками волновой ряби. При движении вверх по течению р. Лена мощность свиты изменяется от 35 до 180 м. В разрезах юрских отложений среди слабо литифицированных песков (далее в соответствии с работами [4, 12] – полупесчаников) имеются прослои (1–3 м) и блоки кварцитовидных песчаников. Наряду с блоковыми обособлениями последних по всему разрезу свиты отмечены шаровые и эллипсоидальные песчаниковые образования (от нескольких см до 1 м в поперечнике), которые ранее по традиции были названы конкрециями. Однако при этом непременно подчеркивалась их сингенетическая природа и расположение в виде цепочек, вытянутых вдоль слоистости [3]. Отметим, кстати, что для нас именно эти признаки, наряду со слоистостью, совпадающей с таковой окружающей среды, сыграли решающую роль при отнесении указанных образований к тровантам.

Ленские трованты

Трованты и внешне похожие на них конкрециевидные образования известны в песчаных и глинисто-песчаных толщах в различных местах Арктики: на островах и архипелагах Баренцева моря (о-ва Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля), на п-ове Таймыр (в районе пещеры Миддендорфа) и в береговых отложениях низовья р. Лена, находящихся за полярным кругом. В Интернет-отчетах некоторых путешественников, сплавлявшихся по р. Лена, содержатся выразительные фотографии тровантов из других обнажений, что позволяет надеяться на расширение их географии.

Нами изучены трованты, найденные на правом берегу р. Лена, ниже пос. Жиганск. В устье р. Нуора и окрестностях поселка обнажены слои и блоки кварцитовидных песчаников (рис. 2, а). Песчаные блоки воспринимались ранее как «мегаконкреции» (см. рис. 2, б), скопление которых на песчаных пляжах-бичевниках является естественной защитной полосой, замедляющей эрозию и наступление береговой линии.

По ряду признаков трованты разделены на два условных типа, обозначенных соответствующими цифрами. Трованты-1 чаще всего находятся в маломощных (1–5 м) пластах, заключенных между слоями алевролитов. Пока они изучены только на

визуально-бинокулярном уровне. Им присущи эллипсоидальные формы, цепочечное расположение, четко выраженная слоистость и склонность к раскалыванию на разноразмерные диски (рис. 3), а также широкий диапазон изменения гранулометрического и минерального состава. Содержание минералов в слоях колеблется, в некоторых отмечается повышенная концентрация рудных минералов. Цемент, судя по его крепости, кремнеземистый. Следует отметить, что в данном типе тровантов достоверно не установлено сложных форм.

Трованты-2, являющиеся главным объектом изучения в настоящей статье, располагаются преимущественно в полупесчаниках повышенной минералогической зрелости (полевошпатово-кварцевых и кварцевых). В отличие от тровантов-1 слоистость в них проявлена слабо, а подчас едва заметна. Для удобства описания в дальнейшем принята устоявшаяся бинарная их градация на простые и сложные [21]. Граница между градациями условная и определяется на интуитивном уровне, зависящем от предпочтений исследователя, но в большинстве случаев близка к 5–7 индивидам.

В правобережье р. Лена ниже р. Джарджан юрские отложения представлены мелко- и среднезернистыми полупесчаниками, для которых характерны косая и волнистая слоистость, знаки ископаемой ряби и тонкие (1–15 мм) линзочки, обогащенные



Рис. 2. Кварцитовидные песчаники в левобережье р. Лена (пос. Жиганск, Якутия): а – серия блоков в береговом обнажении и свалах (фото С. Карпухина, <http://www.photogeographic.ru>), б – блок-останец кварцитовидного песчаника на пристани в устье р. Нуора

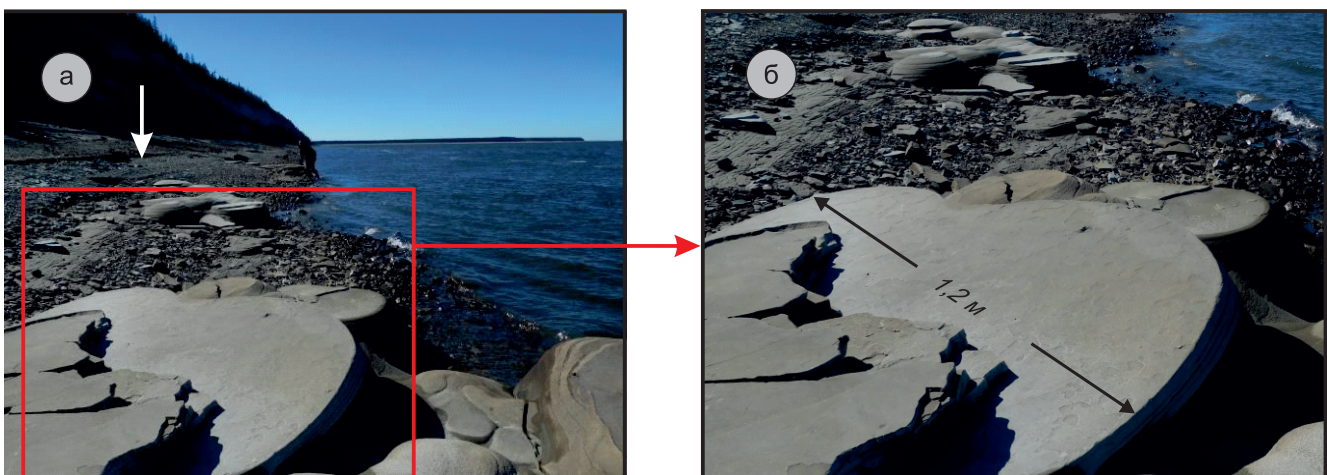


Рис. 3. Общий вид берегового обнажения с тровантами-1 (а); на заднем плане белой стрелкой показан слой, из которого трованты вываливаются на пляж и разрушаются, образуя диски (б)

темно-серым растительным детритом. В светло-серых полупесчаниках наблюдается двухметровый слой серо-коричневых кварцитовидных песчаников, в подошве которого имеются сфероидальные выступы (рис. 4, а). В отдельных местах четко проявляется встречное узко-клиновидное взаимопроникновение песчаников и полупесчаников. Материал один и тот же, но цвет и консистенция – разные, поэтому создается впечатление незавершенности процесса литогенеза. В непосредственной близости от указанного обнажения на бичевниках в одиночку и группами встречаются шаровые трованты. В половодье (июнь), когда уровень воды поднимается на 10 м и более, эти трованты оказываются в воде, как и значительная часть вышележащих коренных обнажений. При этом в полупесчаниках образуются пещеры, высота которых достигает 3 м. А в межень при ветровой эрозии на стенках проявляются детали слоистой текстуры, что выражается в образовании мелких углублений, трассирующих слоистость. Их исчезновение под выступающими индивидами свидетельствует об уплотнении вмещающей среды и оседании уже после формирования тровантов (см. рис. 4, б).

В большинстве изученных обнажений юрские отложения имеют субгоризонтальное залегание

с наклоном до 6–7°, местами они перекрыты четвертичными осадками и содержат толщи полупесчаников с тровантами-2. В материалах среднемасштабной съемки последние упоминаются как «песчаные конкреции», находящиеся в сходных по составу и структурно-текстурным особенностям слабоцементированных песках. Число четко обозначающихся индивидов колеблется и нередко достигает нескольких десятков. Внешне они похожи на причудливые слепки-желваки. Их уплощенность всегда совпадает с направлением слоистости в полупесчаниках. Среди простых образований главенствует шаровая форма. Однако в береговых обнажениях р. Лена иногда сохраняются шары со скульптурными осложнениями, представляющие настоящую генетическую загадку (рис. 5, а). Такой «барельефный тип», насколько известно авторам, в других местах развития тровантов еще не отмечался. Окраска их серая, при длительной инсоляции темнеет, приобретает коричневый оттенок.

В большинстве индивидов сложных тровантов заметна отдельность, ориентировка которой совпадает с направлением слоистости в полупесчаниках. Форма индивидов, находящихся в вершинных и реберных позициях, приближается к шаровой. На по-

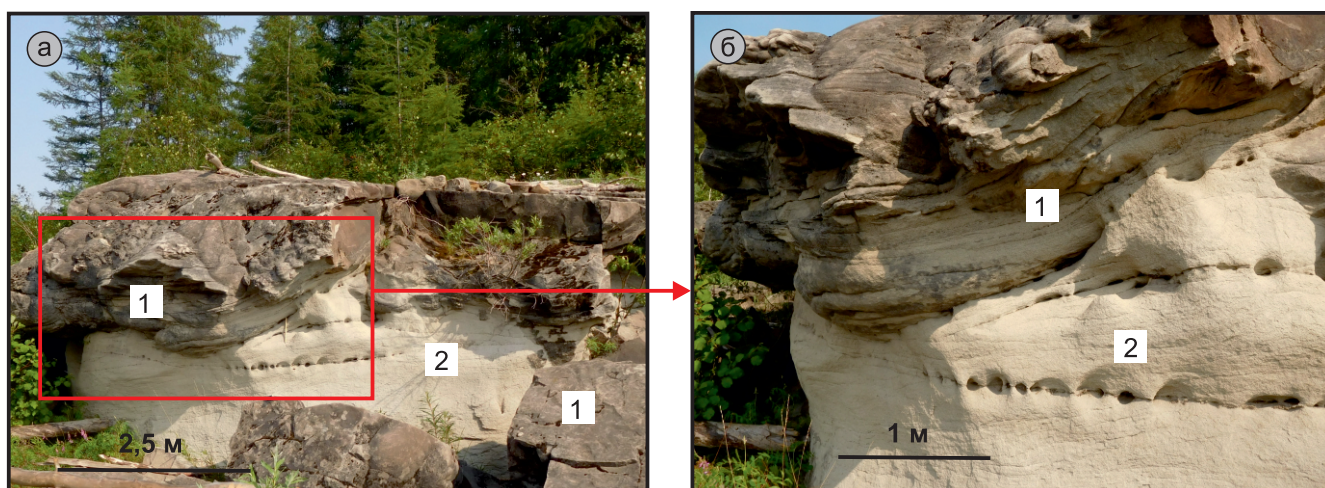


Рис. 4. Нижний контакт трованта-1 (а) и фрагмент взаимоотношения с вмещающей средой (б): 1 – тровант-1; 2 – полупесчаник (устье р. Джарджан)



Рис. 5. Ленские трованты-2: а – простые (мыс Костатымский, фото Ю. Прокофьева), б – сложные (в 2,8 км ниже устья р. Менкере)

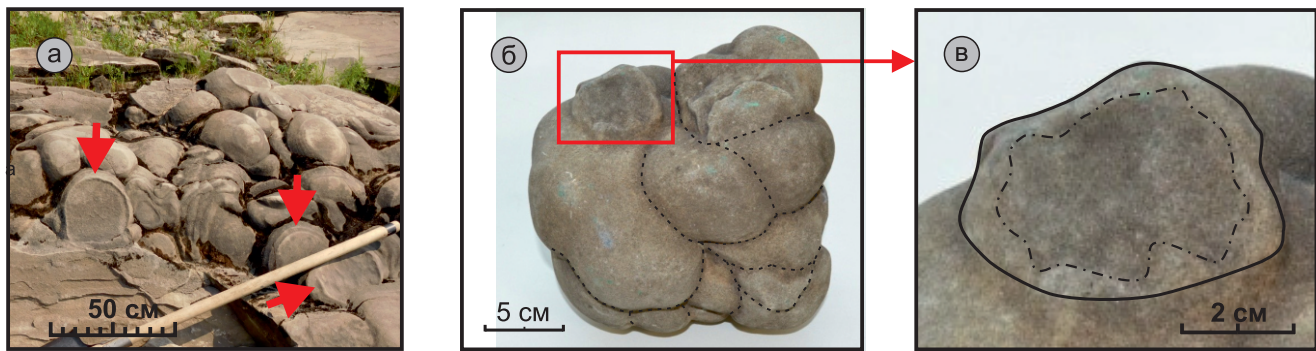


Рис. 6. Глинисто-песчаные оболочки в тровантах-2: а – шаровидные трованты в свале на береговом пляже (устье р. Джарджан), стрелками показаны индивиды с рельефно выступающими оболочками; б – выветрелый скол индивида (устье р. Менкере, фото В. Карпушина) (пунктиром показаны ложбинки между индивидами); в – фрагмент (штрих-пунктиром показана внутренняя граница оболочки)

верхности трованта соседние индивиды соприкасаются по дугообразным «ложбинкам», сходящимся в углублениях (см. рис. 5, б). Наряду с глубокими ложбинками, определяющими полигональный вид поверхности трованта, на отдельных крупных индивидах видны сопряженные сглаженные бугорки, разделенные пологими ложбинками, сходящимися в одной точке. При этом противоположных окончаний ложбинок уже не видно, что может указывать на объединение соседних индивидов.

При первом знакомстве со сложными тровантами, выступающими в виде козырьков, напрашивается аналогия с облаками, а многочисленные ложбинки между индивидами наталкивают на мысль о возможном существовании внутренних «стягивающих перепонок». Однако при распиливании тровантов предположение о внутренней фрагментации не подтверждается. Это означает, что в основе механизма сохранения устойчивых конфигураций лежит другая причина, которая должна быть учтена моделью, объясняющей предполагаемую последовательность формирования простых и сложных тровантов.

Примечательная особенность простых тровантов-2 – формообразующие оболочки толщиной 5–7 мм, которые практически незаметны на плоскостях свежераспиленных образцов, но отчетливо видны на выветрелых отломных поверхностях (рис. 6). Очевидно, что для ленских тровантов-2 нахождение в резко контрастных климатических условиях в максимальной степени выявляет контраст в прочности центральной части и оболочки (см. рис. 6, а). В сложных тровантах такие оболочки становятся малозаметными, а конфигурация их внутренней границы – менее определенной (см. рис. 6, б, в).

Трованты-2 сложены тонко-мелкозернистым песчаником средней и повышенной прочности, состоящим из кварца (40–55 об. %), полевых шпатов (25–30 %), примесных минералов – слюд, амфибола (около 1 %), а также единичных зерен рудных минералов. Кальцитовый цемент контактового (участками пленочного) типа составляет 10–15 %. По шкале А. В. Хабакова окатанность зерен преобладающей фракции относится к I–II градациям. Открытая по-

ристость, определенная в шлифах из образцов, пропитанных окрашенным полимером, составляет 10–15 %. В цементе имеется небольшая примесь глинистого материала, которая фиксируется после полного растворения карбонатов в препаратах.

В целом преобразования песчаников, слагающих трованты, соответствуют диагенезу и, возможно, начальной стадии катагенеза [15]. Плагноклаз серицитизирован, калиевый полевой шпат пелитизирован, по редко встречающимся чешуйкам биотита развит бледноокрашенный хлорит, кальцит образует контактовый цемент.

Анализ данных

Сопоставление данных по ленским тровантам и находкам в других странах свидетельствует, во-первых, об однотипности геолого-тектонических условий их появления в платформенных или субплатформенных областях и о значительном разнообразии их форм при преимущественно песчаном составе, во-вторых. Осадочные комплексы с тровантами имеют близкое к горизонтальному залегание (углы наклона обычно не превышают 10°). Закономерна их приуроченность к песчаным слоям, причем в разрезах с несколькими такими слоями они располагаются не во всех. В одних толщах их распределение хаотично, а в других они «выстраиваются» в цепочки. Диаметры сферических тровантов меняются от первых см до 3–4 м. На фоне светлых песков и полупесчаников они выделяются более темной окраской, рельефностью при боковой эрозии и размещением на «пьедесталах» – при площадной. В первом случае они вываливаются из стенок обнажений и разрушаются или захораниваются на пляжах, во втором – скапливаются в оврагах и долинах.

Главной особенностью тровантов является то, что они наследуют минеральный состав и структурно-текстурные признаки вмещающих полупесчаников, отличаясь повышенной крепостью, большим содержанием цемента и меньшей пористостью. Важно отметить, что состав цемента в них варьирует в узких пределах – от кремнистого (в Подмосковье) до глинисто-известкового и известково-глинисто-

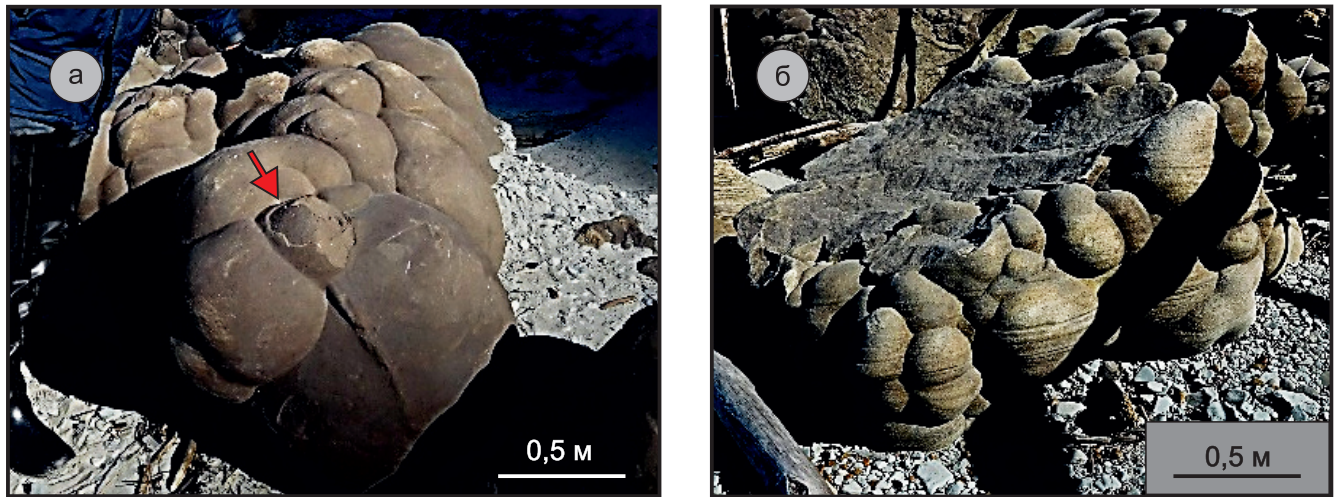


Рис. 7. Эпигенетические преобразования в сложных тровантах-2: а – следы однослойной десквамации (показаны стрелкой), б – проявление слоистой текстуры при выветривании

го (в Румынии). В ленских тровантах цемент либо извлектово-кремнистый, либо глинисто-известковый.

Песчаная среда, вмещающая трованты, имеет более высокую пористость и меньшее количество цемента, поэтому выветривается быстрее, чем трованты. В слоях с тровантами-1 она отчетливо слоистая. Количественные соотношения минералов в слоях колеблются в широких пределах, а размер зерен и обломков изменяется от песчаного до гравелистого. Для вмещающей трованты-2 среды характерны мелкая зернистость и повышенная минералогическая зрелость: она имеет полевошпатово-кварцевый состав и светло-серую с желтоватым или коричневатым оттенком окраску. Нередко преобладают кварцевые пески белого цвета. Участие псефитового материала отмечается как исключение. Характерна также слабо выраженная тонкая параллельная и косая слоистость. Однако наиболее существенным свойством является низкая, реже средняя степень цементированности. Поэтому не случайно Г. Мургочи именовал такие песчаники рыхлыми (*gresiifriabile*) [24], а П. А. Никитин [12] присвоил им уникальное имя – «полупесчаник», которое позже применялось при крупномасштабном картировании [4]. Изучая сибирские трованты, мы предпочли воспользоваться вторым термином, в наибольшей мере отражающим степень цементирования песков на диагенетической и катагенетической стадиях литогенеза. Иными словами, полупесчаник рассматривается в качестве промежуточного образования между осадком и осадочной породой, а не как элемент породного ряда по механической прочности.

Добавим, что отдельные признаки, определяющие неконкреционную природу тровантов и свидетельствующие о правдоподобности обсуждаемых гипотез и моделей, выражаются также и на деструктивной стадии их эволюции. Отсутствие сложных форм среди тровантов-1 может быть отнесено на счет преимущественного появления шаровых и эллипсоидальных форм. Поэтому становится понятным, почему устойчивое сочетание шаровых

форм и слоистой текстуры послужило веским основанием для отнесения казахстанских «конкреций» к тровантам еще более 20 лет назад [27]. Для тровантов-2 показательное проявление десквамации. Оказалось, что она, напротив, не имеет отношения к образованию шаровой формы, поскольку в силу своей однослойности способна лишь подчеркнуть первозданную конфигурацию индивидов (рис. 7, а). В случаях слабо выраженной слоистости ее ориентировка подчеркивается системой трещин отдельности, проявляющихся при глубоком выветривании (см. рис. 7, б).

Особенности структуры и состава полупесчаников и тровантов, с одной стороны, и наличие слоев и блоков хорошо сцементированных песчаников – с другой позволяют предположить два сценария литогенеза – непрерывный и прерывистый. Первый соответствует традиционному течению процесса породообразования в некоей геологической системе и может быть назван литогенным. По второму сценарию процесс прерывается под воздействием внешнего фактора, система переходит в новое энергетическое состояние, вследствие чего возникают дополнительные продукты литогенеза типа полупесчаников, а также малые геологические тела, в том числе и трованты. Поэтому его можно назвать тровантогенным.

По этим сценариям формируются разные типы тровантов, полупесчаников, кварцитовидных и кварцевых песчаников. Однако для простоты изложения цифрами 1 и 2 обозначены только трованты. Рассматривая ленские трованты в данном аспекте, можно утверждать, что они напоминают конкреции только внешне, однако обоснованное отнесение их к данному классу долгое время было затруднено двумя обстоятельствами. Во-первых, они имеют одинаковый с полупесчаниками минеральный состав и «наследуют» их слоистость, а во-вторых, в теории конкрециеобразования так и не появилось удовлетворительного объяснения их природы. В целом это, конечно, стимулировало поиск



решения проблемы в несколько иной сфере физико-химических процессов, конкретная реализация которых зависела, в частности, от тектонической обстановки, внешних факторов и устойчивой склонности дисперсионных систем к самоорганизации. Поэтому гипотезы образования тровантов и соответствующие им пошаговые модели должны базироваться на посылах и предположениях, не имеющих прямого отношения к конкрециообразованию. Первая подобная гипотеза была опубликована в 2008 г. [23], вторая рассматривается в данной работе.

Гипотезы и модели тровантогенеза

Лейтмотивом обеих гипотез, которым для краткости изложения даны условные названия, стала концепция признания тровантов псевдоконкрециями.

Сейсмогеодинамическая гипотеза

Утверждается, что трованты – это не конкреции и не относятся к разряду уникальных геологических явлений в истории Земли [23]. Они считаются частным случаем палеодинамических текстур, образуются в результате импульсного динамического воздействия земной (землетрясения) или космической (падение болидов) природы, т. е. некая исходная растворонасыщенная система переводится в неравновесное состояние поступлением дополнительной энергии. Весомым аргументом в обосновании гипотезы являются 3D-эксперименты с системой «песок – вода», по технике исполнения перекликающиеся, возможно, с известными опытами Э. Хладни по визуализации стоячих волн в системе «песок – воздух». Важность вывода, сделанного авторами гипотезы, состоит в том, что трованты по сути своей не являются «стяжениями», как было принято считать ранее, а представляют собой сферо- и эллипсоидальные «уплотнения». Данная гипотеза разрушила почти вековое представление о тровантах как о песчаных конкрециях (Sandsteinkonkretionen) и открыла оперативный простор для выдвижения новых идей и моделей, чему в известной степени способствовало также и рекомендованное ими деление тровантов на простые и сложные, обязывающее обосновывать, какие формы тровантов возникают раньше – эллипсоидально-сферические или причудливо-комбинаторные.

Соответствующая гипотезе модель в общем виде была предложена в 2003 г., однако идея, подтвержденная экспериментом, высказана значительно раньше [27]. Модель отражает процесс регионального масштаба с избирательным воздействием геодинамических и палеосейсмических факторов на разновозрастные толщи, что приводит к уплотнению песчаной массы и формированию тровантов преимущественно шаровой формы и иногда имеющим концентрически-зональное строение [21, 25, 26]. Подчеркивается приуроченность тровантов к песчаным толщам, разделенным пласта-

ми аргиллитов, алевролитов и мергелей. Принципиально важным является указание на сходство состава тровантов и вмещающей среды, одинаковую слоистость, специфику механизма уплотнения вещества, локальность накопления карбонатных растворов, участие сил поверхностного натяжения и др. Обращено внимание на корки, покрывающие трованты, которые имеют глинистый, реже оксидно- и гидроксидно-железистый, а в исключительных случаях (так называемые мягкие трованты) железисто-марганцевый состав [21]. Отмечено снижение масштабов образования тровантов с повышением возраста вмещающих толщ. Так, в ценозое Карпат установлено более десяти уровней их проявления, а в кайнозое – верхнем палеозое Сибирской платформы отмечены лишь единичные горизонты.

Аквадиссипативная гипотеза

Считается, что возникновение областей с тровантами предопределяется рядом геологических и тектонических факторов планетарного и регионального масштаба, под действием которых формируются осадочные породы. Предполагается, что триггером, или своеобразным «спусковым крючком», прерывающим классическую литификацию и запускающим процесс образования тровантов, является частичный дренаж, вызванный либо крупным катастрофическим событием [23], либо понижением базиса эрозии. В результате первоначально равновесная система распадается на две неравновесные подсистемы, которые в дальнейшем эволюционируют в режиме самоорганизации [11]: «полупесчанник – гидратно-пленочная вода» (далее – окружающая среда) и «полупесчанник – вода» (далее – прототровант). При этом допускается некоторое повышение минерализации порового раствора в прототровантах, происходящее за счет диагенетических и катагенетических преобразований исходных алюмосиликатов [15]. Допускается также, что вязко-текучая дисперсная подсистема, заключенная в прототровантах, стремится к однонаправленному изменению формы под действием свободной поверхностной энергии (энергии Гиббса). Фактически это означает, что данный процесс относится к разряду диссипативных [7, 13], а прямое его следствие – отклонение от классической схемы литогенеза. Такой подход позволяет, по-видимому, с определенной долей условности провести некоторую аналогию с процессами, происходящими в системе «песок – вода» в поверхностных условиях.

При разработке пошаговой модели отправным моментом стало предположение о существовании изолированных областей водного порового раствора (далее вода, или аква) – «акваоблаков». При этом поверхностная энергия диссипирует в определенных точках акваоблака, что сопровождается некоторым упрощением его формы, а следовательно, и формы прототрованта. Процесс происходит в мас-

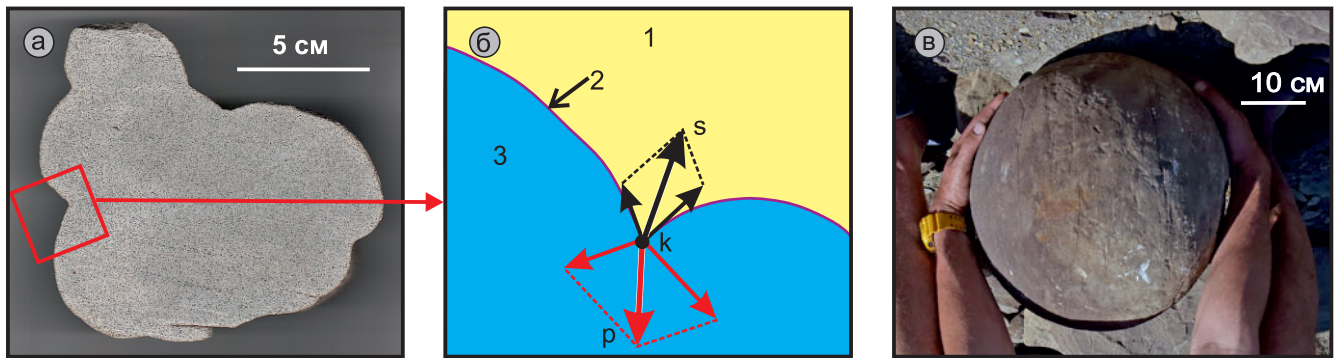


Рис. 8. Эволюция трованта-2: а – конфигурация в разрезе, перпендикулярном слоистости; б – схема взаимодействия сил внутреннего давления (p) и поверхностного натяжения (s), действующих на минеральную частицу в точке k , при коалесценции индивидов в прототрванте (1 – полупесчаник, 2 – кристаллогидратная оболочка, 3 – прототрвант); в – предельная форма самоорганизации при тровантогенезе (фрагмент фото С. Карпущина, www.photogeographic.ru)

штабе геологического времени и длится, возможно, в течение первых миллионов лет.

Аквадиссипативная модель разработана главным образом на материале по ленским тровантам и в отличие от предыдущей не столь универсальна. Она реализуется только в том случае, когда произошла «разгерметизация» исходной породообразующей системы, когда в литогенезе произошел какой-то сбой. На начальном этапе ключевая роль отводится частичному дренажу порового раствора. Дальнейшая цементация продолжается только внутри прототрвантов, тогда как в окружающей среде она резко замедляется. Иными словами, в процессе осушения система распадается на две подсистемы – множество водонасыщенных областей (прототрвантов) и увлажненную полупесчаниковую окружающую среду. Один из существенных признаков подсистем – состав дисперсионных фаз: в окружающей среде она, по-видимому, гидратно-газовая (мономолекулярный слой на зернах), а в прототрвантах – гидратно-газово-водная (вода и газовая фаза находятся в интерстициальном пространстве).

Предполагается также, что осушение происходит не одновременно, а с умеренной скоростью, поскольку при быстром осушении не исключено образование подземных водотоков, признаков которых нами не наблюдалось, а результаты медленного осушения непредсказуемы. В дальнейшем процесс изменения консистенции и формы тровантов под действием сил адгезии, когезии и поверхностного натяжения может прекратиться на любой стадии, однако его апофеозом является достижение сферической формы, происходящее по механизму слияния капель.

На ровной плоскости свежего отпила отчетливо видны субпоперечные срезы ложбинок между индивидами (рис. 8, а), а о слоистой текстуре можно судить только по ориентировке плоскостей отдельности в верхнем и нижнем индивидах. В основе же механизма упрощения формы прототрванта лежит, вероятно, стремление дисперсионной фазы к минимуму поверхностной энергии (см. рис. 8, б). При этом на молекулу воды, находящуюся в точке k

и принадлежащую гидратным оболочкам обоих индивидов, одновременно действуют силы внутреннего давления p и поверхностного натяжения s . Они противоположны и не уравновешены: по модулю, как известно, p всегда преобладает над s [5]. Поэтому молекула воды, находящаяся на границе капелек, с поверхности переходит внутрь. В дисперсионной же среде аналогичным образом могут, по-видимому, перемещаться обломки и спайные выколки гидрофильных минералов. В результате ложбинка, обозначенная криволинейным углом с вершиной k , сначала выполаживается, а со временем исчезает. Фактически это означает, что все частицы, находящиеся в такой позиции, в конечном счете переходят в состав прототрванта, изменяя его конфигурацию и консистенцию. В итоге при выполаживании всех ложбинок сложный тровант приобретает сферическую или эллипсоидальную форму.

Следует отметить также, что уверенность в подобной интерпретации подкреплена многолетними гидрогеохимическими исследованиями, согласно которым система «вода – порода» «...является равновесно-неравновесной, способной к самопроизвольному, непрерывному, геологически длительному развитию...» [20, с. 103]. При этом последовательность выделения вторичных минералов совпадает с таковой, установленной в отдельных типах тровантов. Вначале образуются гидрооксиды железа и марганца (рис. 9, точка А), описанные в «мягких тровантах» [21]. Затем довольно продолжительное время в осадок выпадают алюмосиликаты (каолинит, гидрослюда, Mg-монтмориллонит) и кремнезем (см. рис. 9, точки В–Д), что способствует формированию кварцитовидных песчаников и тровантов-1. При формировании тровантов-2 приоритет переходит к кальциту (см. рис. 9, точки Е–Н).

В пошаговой модели, разработанной в основном на материале по ленским тровантам и литературным данным по тровантам из других областей России, предусмотрены оба сценария (рис. 10). По первому образуются породы, свойства которых зависят от характеристик осадков и циркулирующих

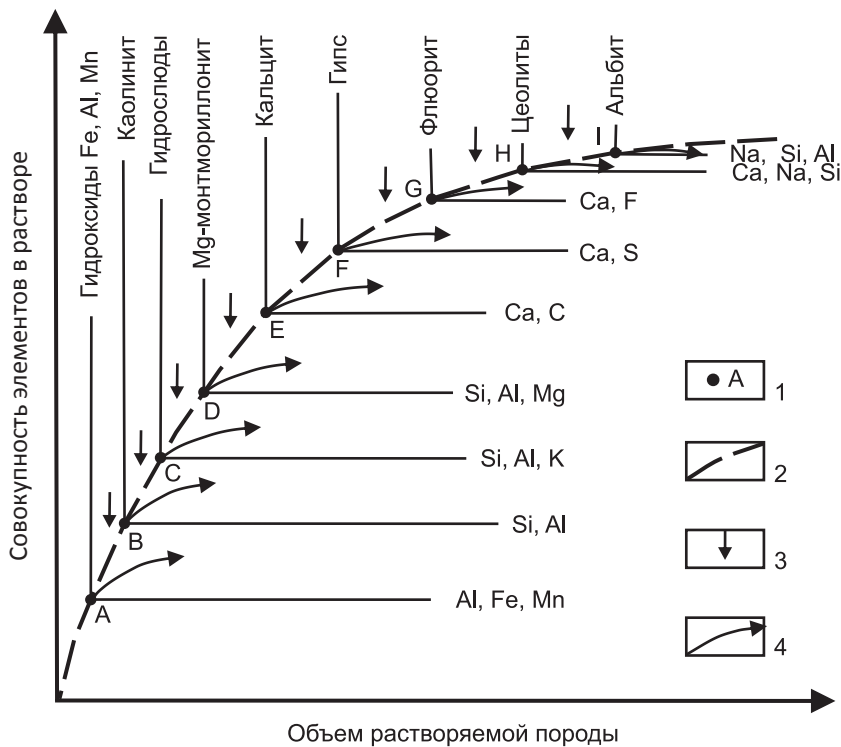


Рис. 9. Последовательность образования вторичных минералов в ходе эволюции системы «вода – порода» (по [20])

1 – точки начала выпадения новой вторичной фазы; 2 – соотношение твердых и растворенных минералов; 3 – зоны возможного поступления воды к контакту с горной породой; 4 – места возможного прекращения взаимодействия воды с породой

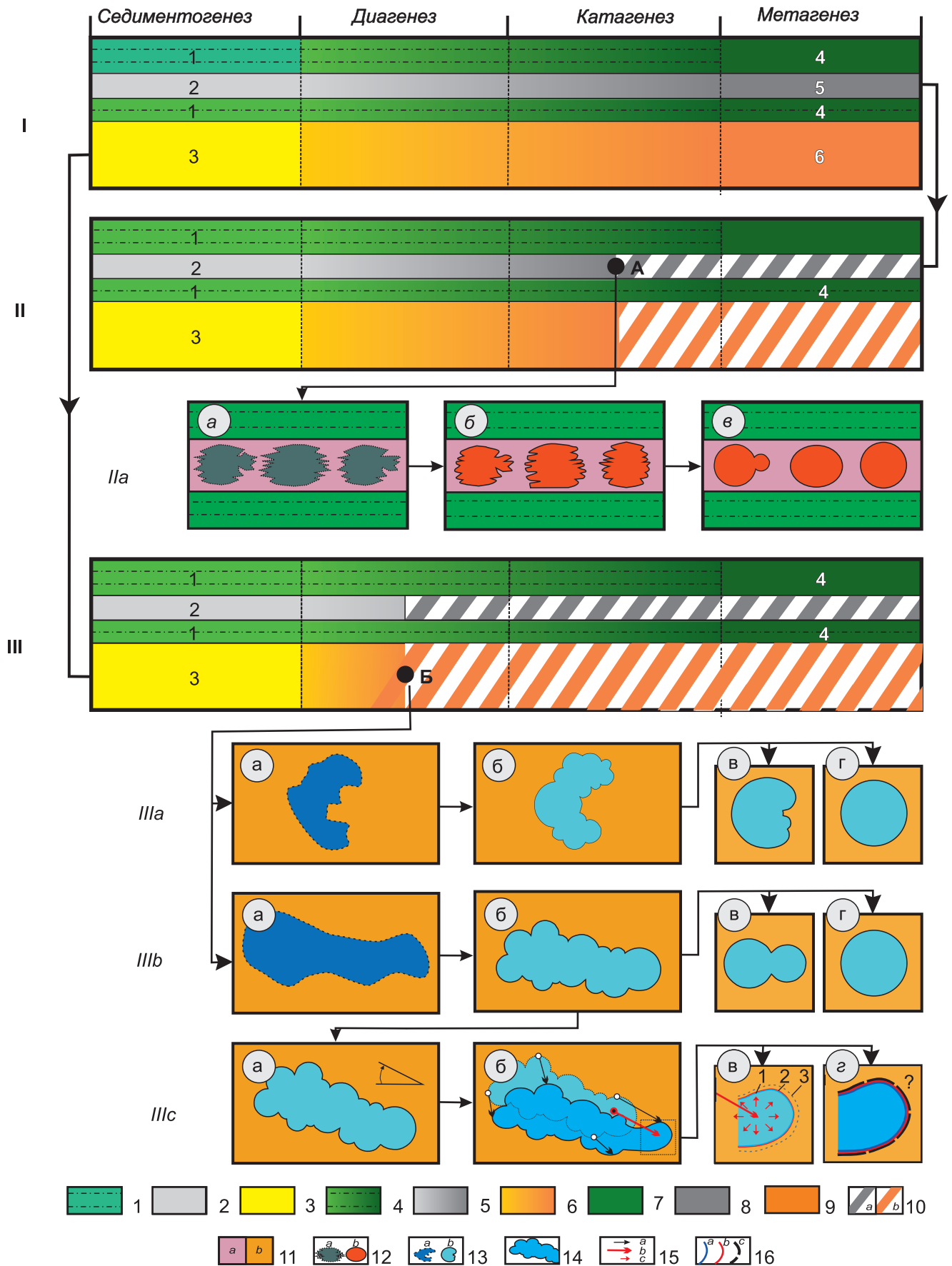
в них флюидов. Немаловажное значение имеют и водоупорные свойства слоев с глинами и алевролитами (см. рис. 10, I, 1, 4). Поскольку скорость литификации разных осадков неодинакова, в дальнейших построениях наибольшее ее значение принимается для песков, из которых образуются кварцитовидные песчаники. Второй сценарий срабатывает в тех случаях, когда первоначально равновесная система превращается в неравновесную под действием кардинального изменения условий литификации. Таким событием является частичная потеря порового флюида в точках А и Б на одной из промежуточных стадии литогенеза (см. рис. 10, II, III). Для объяснения генезиса других известных типов тровантов, в том числе и экзотических (древовидных, спиральных, усложненных «микротровантами»), необходимы индивидуальные модели.

Образование тровантов-1 происходит, вероятно, при ограниченной миграции флюида, поэтому носит массовый характер. Большинство прототровантов изначально принимают формы, близкие к предельным. На промежуточной стадии происходит только сглаживание мелких неровностей, а конечные формы редко состоят из двух и более индивидов (см. рис. 10, IIa). Для тровантов-2, обладающих почти непредсказуемым распределением внутри слоя, предусмотрены варианты разной пространственной ориентировки (см. рис. 10, IIIa, IIIb), а также возможного оживления на промежуточной стадии (см. рис. 10, IIIc).

Не исключено, что одной из вероятных причин остановки трансформации прототровантов могло стать образование глинистых оболочек [8], сыгравших роль своеобразных мембран с осмотическими свойствами: пропуская воду, они, видимо, задержи-

вали «коллоидальные частицы карбонатов, так как их размеры превышают величину пор в глине» [9, с. 50]. Развивая данную идею и принимая прототрованты за своеобразные водные резервуары, можно, по-видимому, допустить также, что аналогичную функцию способны выполнять и гидратные пленки в сочетании с глинистым материалом. Иными словами, теоретическое время существования прототровантов зависит от времени превращения полупроницаемой оболочки в непроницаемую. Поэтому вопрос об образовании тровантов в конгломератогравелитовой и мергелевой средах нуждается в специальном обосновании и остается пока открытым.

Таким образом, литогенез и тровантогенез происходят под действием геологических, палеотектонических, палеосейсмических, палеогидрогеологических и других факторов. В соответствии с первым сценарием образуются предельно сцементированные песчаники разного состава. Развитие второго сценария возможно, как нам представляется, только после воздымания тектонических блоков и дренажа песчаных толщ. Одной из причин массового образования тровантов-1 может быть ограниченный дренаж воды, обусловленный достаточно высокой степенью литификации на момент проявления эффекта триггера. В отличие от них трованты-2 образуются в слабосцементированной среде, что приводит к более интенсивному дренажу, а также к значительно большему разнообразию конфигураций прототровантов. Частным случаем, вероятно, является некоторый разворот тектонического блока (см. рис. 10, IIIc, б) и последующая трансформация сложных тровантов при палеосейсмической (см. рис. 10, IIIc, в, г). Не исключено также, что тиксотропные преобразования затрагивали не



только трованты-2: постоянное «дрожание» континентальной коры могло играть существенную роль и для прототровантов, способствуя поддержанию их в квазисуспензионном состоянии.

К этому следует добавить, что в формат модели вписываются трованты из других регионов России, называемые по традиции «конкрециями». Так, в Егановском карьере Московской области

Рис. 10. Аквадиссипативная модель тровантогенеза

1–3 – осадки: 1 – псаммито-алевритовые, 2 – псаммито-псефитовые, 3 – зрелые псаммитовые; 4–6 – промежуточные образования литогенеза: 4 – псаммито-алевритовые, 5 – псаммито-псефитовые, 6 – зрелые псаммитовые; 7–9 – продукты литогенеза по непрерывному сценарию: 7 – алевролиты и сланцы, 8 – «кварцитовидные» песчаники, 9 – кварцевые и полевошпатово-кварцевые песчаники; 10 – продукты литогенеза с тровантами-1 (а) и тровантами-2 (b) по прерывистому сценарию; 11 – псаммито-псефиты (а) и полупесчаники (b) дренированные; 12 – прототрованты и трованты-1; 13 – прототрованты и трованты-2; 14 – образование пlyingуна (стрелки указывают направление перемещения элементов прототрованта); 15 – указание направлений: перемещения границ пlyingуна при тиксотропии (а), перемещения мнимого центра повышенного давления в поровом флюиде (b) и действия избыточного давления (с); 16 – оболочки, предполагаемые во фронтальной части пlyingуна: «кристалло»-гидратная (а), глинистая (b) и песчано-глинистая (с); римскими цифрами обозначены этапы литогенеза по непрерывному (I) и прерывистому (II–III) сценариям, буквами а, b, с – шаги

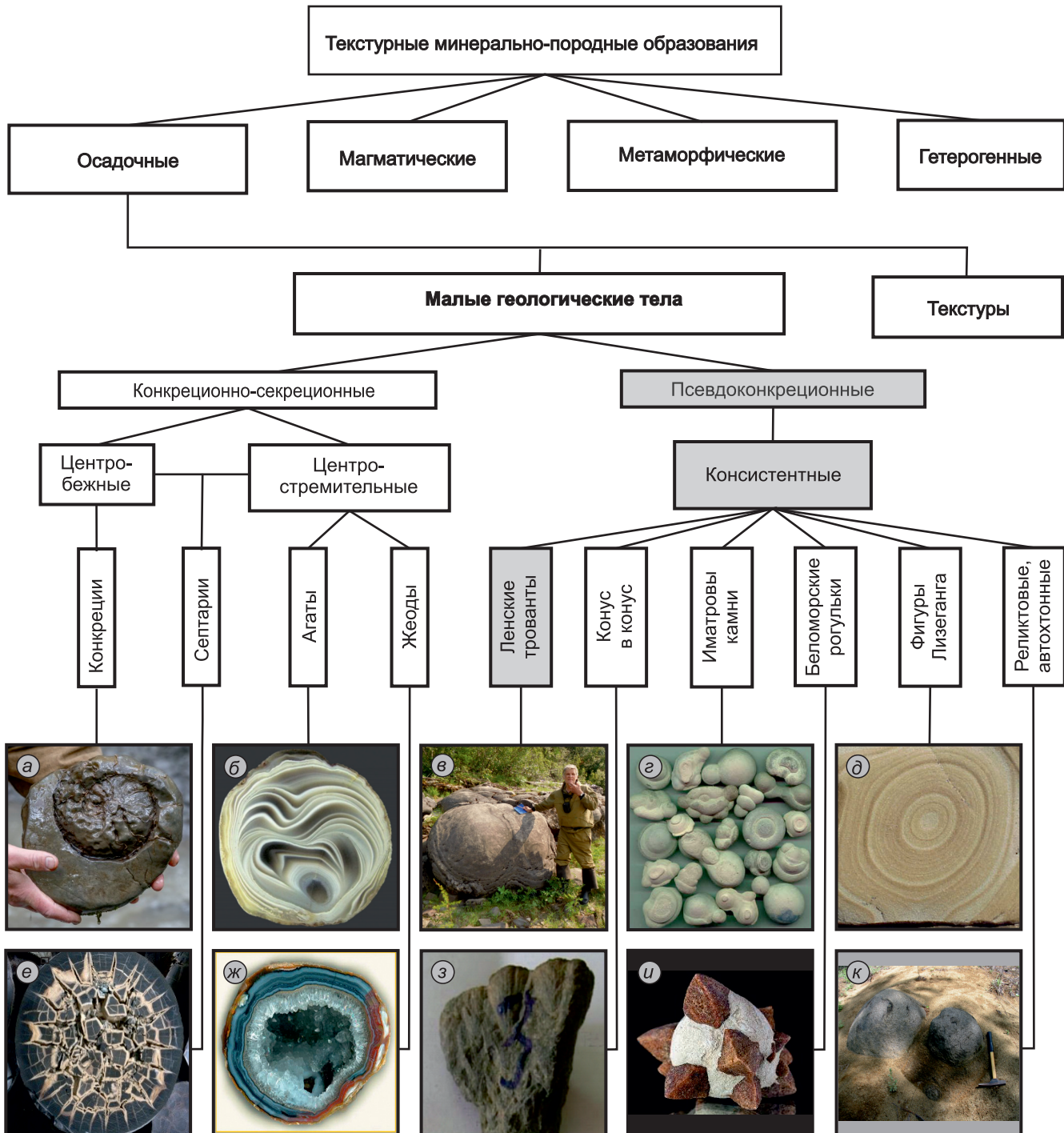
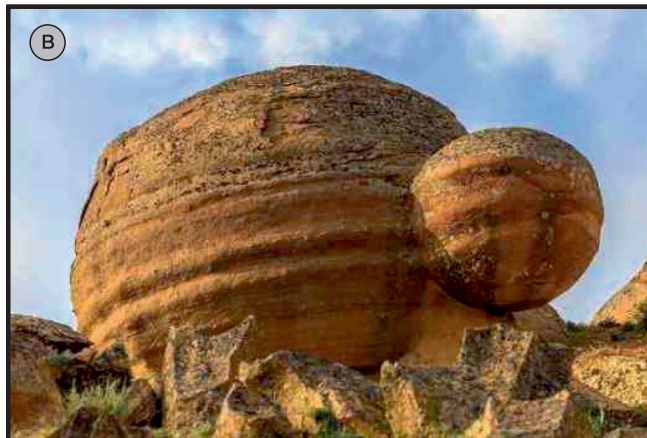


Рис. 11. Фрагмент систематики малых геологических тел. Характер перемещения вещества: центробежный (а), центростремительный (б, д, ж, к), разнонаправленный (в), проблематичный (г, е, з)



сложные трованты отождествлены с пластовыми конкрециями [17]; в Рязанской области обнажается «горизонт наплывных (фигурных) песчаников, которые длительное время выступают в виде

карнизов над склоном. Их собирают и используют в качестве элементов ландшафтного дизайна» [16, с. 256]. В Кировской области описаны шаровые конкреции размером до 1,5–2,0 м в диаметре [6];

Рис. 12. Аprobация аквадиссипативной модели

а–д – трованты, генезис которых соответствует модели: а – простой тровант на пьедестале (р. Лена, Восточная Сибирь, Россия; фото Ю. Прокофьева); б – «фигурные песчаники» в меловых кварцевых песках (с. Малый Пролом, Рязанская область, Россия; фото А. В. Водорезова), в – россыпь тровантов-1 (Долина каменных шаров, Казахстан), г – ансамбль простых тровантов-2 с оболочками (Музей Костешты, Румыния), д – трованты-2 на постаментах и в развалах (Лунная долина, Аргентина); е–з – трованты, генезис которых остается неизвестным (экзотические формы): е – древовидный, ж – с фрагментами растрескавшейся оболочки, часть из которых может быть воспринята как «микротрованты» (Музей Костешты, Румыния), з – спиралевидный (местонахождение в коренном залегании неизвестно)

Фотографии взяты в Интернете: а – http://volnomuvolya.com/lenskiye_stolby.html; б – https://www.rsu.edu.ru/wp-content/uploads/2020/01/Priroda_Ryazanskoy_oblasti.pdf; в – <https://bigpicture.ru/trovanty-udivitelnye-zhivye-kamni/>; г – <http://filov.mypage.ru/21941451.html>; д – Dreamtime.com; е – <https://priodatop.ru/geologicheskie-yavleniya/chto-takoe-trovanty/>; ж, з – <https://extremomundial.com/2020/08/13/las-extranas-y-misteriosas-piedras-vivientes-de-rumania>

более мелкие представители, покрытые глинистыми оболочками, известны в Ишимбайском районе Башкортостана [8].

Положение тровантов в систематике малых геологических тел

Текстурные образования горных пород традиционно подразделяются на текстуры и малые геологические тела (МГТ). Причем среди известных авторам классификаций МГТ трованты не упоминаются. Не исключено, что одной из возможных причин такого положения стало отсутствия четких критериев их выделения при описании породно-минеральных уплотнений. Еще одна из вероятных причин, видимо, заключается в том, что в конкретных районах детальному изучению подвергается ограниченное число видов МГТ. В классификации О. В. Суздальского, к примеру, главное внимание сосредоточено на центробежном перераспределении конкрециеобразователя глинистого, карбонатного и мергельного состава. Поэтому тровантам-1 места в ней не находится. А вот трованты-2 могли бы быть отнесены к класто-карбонатному типу с содержанием цемента до 30–35 % [19]. Это означает, что для отражения специфических особенностей тровантов целесообразно использовать не структурно-текстурные и вещественные, а генетические признаки (рис. 11). Одним из них может служить характер (вид) перемещения вещества, слагающего МГТ. Во всяком случае с такой позиции конкреции и секреции являются очевидными антиподами: вещество в них откладывается послойно в направлении либо от центра (центробежные), либо к центру (центростремительные) соответственно. Тровантам же присущ разнонаправленный характер движения цементирующего вещества во всем объеме. Состав и состояние системы при этом изменяются, отсюда следует и соответствующее название для данной группы МГТ – консистентные. Таким образом, в систематике, не претендующей на полноту охвата всего разнообразия осадочных МГТ, позиция тровантов предопределяется разнонаправленным характером перемещения вещества. Именно оно изменяет консистентность в ограниченном объеме. Образование же конкреций и секреций происходит при одностороннем центробежном (а) или центростремительном (б, д, ж, к) движении вещества. Разновидности

МГТ, имеющие признаки гетерогенного происхождения, являются продуктами разнонаправленного (в, и) и проблематичного (г, е, з) движения.

Следует отметить также, что трованты, в течение длительного времени в качестве текстур безоговорочно отождествлявшиеся с конкрециями, в данной систематике получают иной статус, поскольку среди конкреций как особых диагенетических образований известны только две группы – «залегающие согласно со слоистостью и секущие ее» [2, с. 12]. Трованты же не обладают этими признаками соотношения со вмещающей средой, поскольку просто «наследуют» слоистость, проявляющуюся в них вне зависимости от их конфигурации.

Важен вопрос о соотношении тровантов с другими типами МГТ: не всегда удастся обозначить достаточно четкие отличительные признаки. Так, у некоторых тровантов отмечены железистые оксидно-гидроксидные внешние оболочки, именуемые «ржавцами» [6], а в некоторых случаях – серии темноокрашенных сфер, которые окружают шаровые трованты. Механизм образования сфер пока не расшифрован, однако внешне они напоминают фигуры Лизеганга (см. рис. 11, д). Объектами для детального изучения остаются, конечно, МГТ, отнесенные нами к категории проблематичных.

Авторы отдают себе отчет в том, что гипотеза и модель, разработанные для одного, пусть даже обширного региона, не могут иметь универсального применения. Тем не менее уже сейчас можно сказать, что происхождение некоторых из известных объектов находятся в полном с ними соответствии. Прежде всего это относится к тровантам-2 России, Румынии и Аргентины (рис. 12 а, б, г, д), а также к тровантам-1 Казахстана (см. рис. 12, в).

Нерешенными остаются вопросы, связанные с необходимостью разработки индивидуальных моделей для редко встречающихся типов. В частности, непонятно, возможно ли образование «вторичных» микротровантов, имеют ли отношение к семейству тровантов экспонаты экзотического типа (см. рис. 12, е, з).

Выводы

Ленские трованты – консистентные образования, наследующие главные особенности вмещающей среды (минеральный и гранулометрический



состав, слоистую текстуру). Они образуются на одной из стадий диагенеза и катагенеза в результате резкого изменения условий литогенеза.

Нами предложена пошаговая модель образования двух типов тровантов, основанная на использовании ряда факторов и предположений аквадиссипативной гипотезы, а также определено положение тровантов в пилотной версии генетической систематики малых геологических тел и текстур.

Авторы выражают благодарность студентам ГГФ НГУ К. Сосновцеву и Е. Есину за пополнение учебной коллекции ленским тровантом-2. Мы благодарим заведующего Музеем истории Земли (НГУ, Новосибирск) М. А. Середнева за помощь в изготовлении препаратов для исследования. Признательны д-ру М. Тиклеану и его коллегам В. Алексу и М. Флори, любезно предоставившим ранние публикации по теме и несколько постеров с международных геологических конгрессов, а также раритетные труды румынских геологов. Огромное спасибо рецензенту к. г.-м. н. Г. А. Бабину, сделавшему ряд ценных замечаний и конструктивных предложений, которые способствовали существенному улучшению статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Атлас** конкреций / ред. А. В. Македонов, Н. Н. Предтеченский. – Л.: Недра, 1988. – 323 с. – (Тр. ВСЕГЕИ; т. 340).
2. **Гаврилов Ю. О.** Диагенетическое конкрециеобразование в отложениях разного типа, механизмы образования // Литология и я: от идеи до выводов: матер. 3-й Всерос. школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2018. – С. 12–17.
3. **Геологическая** карта Российской Федерации масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Анабаро-Виллюйская, лист R-51 – Джарджан. Объяснительная записка / Л. И. Сметанникова, В. С. Грищенко, Ю. А. Маланин и др. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2013. – 397 с.
4. **Голынец Ф. Ф.** Геологическая карта правобережья р. Копра в среднем течении в западной части 75-го листа. – Саратов: Нижневолжское науч. об-во краеведения, 1980. – 8 с.
5. **Грабовский Р. И.** Курс физики. – СПб.: Лань, 2012. – 608 с.
6. **Дружинин Г. В., Оборин С. В.** Местонахождение крупных шаровидных конкреций песчаника – уникальный геологический объект Кировской области // Уникальные геологические объекты России (докл. во ВСЕГЕИ). – СПб., 2013. – Точка доступа: http://www.geomem.ru/site_confer_report.php?idr=10.
7. **Еськов К. Ю.** Удивительная палеонтология: История Земли и жизни на ней. – М.: ЭНАС, 2008. – 312 с. – (Серия «О чем умолчали учебники»).
8. **Ефимова М. А.** Песчаные конкреции в разрезе вблизи села Макарово Ишимбайского района Республики Башкортостан // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: IV Всерос. молодежн. геол. конф., 19–23 сентября 2016 г. – Уфа, 2016. – С. 169–170.
9. **Зубков М. Ю.** Некоторые модели конкрециеобразования // Постседиментационное минералообразование в осадочных формациях. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1985. – С. 43–51.
10. **Конкреции** и конкреционный анализ. – М.: Наука, 1977. – 246 с.
11. **Летников Ф. А.** Синергетика геологических процессов в истории Земли // Вестн. ИРГСХА: науч.-практ. журн. – 2013. – Вып. 57, ч. II. – С. 109–115.
12. **Никитин П. А.** Плиоценовые и четвертичные флоры Воронежской области. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. – 208 с.
13. **Николис Г., Пригожин И.** Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
14. **Особо** охраняемые природно-техногенные территории Кировской области / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, А. А. Скворцов, Л. И. Скворцова // Вестн. Удмурдского ун-та. Сер. биол. Науки о Земле. – 2019. – Т. 29, вып. 3. – С. 362–373.
15. **Поликарпова Н. Н.** Электронный учебно-методический комплекс. – Минск: БНТУ, 2013. – 178 с.
16. **Природа** Рязанской области: учеб. пособие / С. И. Ананьева, Е. В. Бирюкова, А. В. Водорезов и др. – Рязань: Изд-во ун-та, 2019. – 268 с.
17. **Слетов В. А.** Люберецкие песчаные карьеры и Люберецкие пруды. Геологическая экскурсия // Памятники природы Подмосковья (докл. во ВСЕГЕИ). – СПб., 2013. – Точка доступа: http://mindraw.web.ru/rod20_geo.htm.
18. **Стратиграфия** юры Восточной Сибири (состояние изученности, основные проблемы и способы их решения) / Б. Н. Шурыгин, В. П. Девятов, В. А. Захаров и др. // Вестн. Госкомгеологии. Матер. по геологии и полезным ископаемым Республики Саха (Якутия). – 2001. – № 1. – С. 112–139.
19. **Суздальский О. В.** Конкреции послепалеогеновых отложений Усть-Енисейской впадины // Учен. зап. НИИГА. Сер. Региональная геология. – 1965. – Вып. 5. – С. 127–153.
20. **Шварцев С. Л.** Основные процессы и механизмы эволюционного развития системы вода – порода // Изв. ТПУ. Гидрогеология и инженерная геология. – 2007. – Т. 311, № 1. – С. 103–113.
21. **Concrețiunile grezoase (trovanții) depozitelor cretace și neozoice din arealul carpatic (Romania)** / M. Țicleanu, A. Pantea, A. Constantin et al. // Analele Științifice ale Universității «Alexandru Ioan Cuza». Serie nouă. Special Issue «Geologie, Proceedings of the International Symposium «Geology of Natural Systems». – Iași: Geo, 2010. – P. 241–247.
22. **Grigorescu D.** Cultural geology. Interlinking Earth Sciences, history and philosophy Geosciences in



the 21st century // Geosciences in the 21st century. Symposium dedicated to the 80th anniversary of Professor Emil Constantinescu. Extended abstracts. – Bucharest: GeoEcoMar, 2019. – P. 58–63.

23. **Hypothesis** on the paleodynamic (paleoseismic) origin of the trovants («Sandsteinkonkretionen») / M. Țicleanu, A. Pantea, A. Constantin et al. // 33rd International Geological Congress. – Oslo, 2008. – (Abstract and poster STP01317P).

24. **Murgoci G.** Terțiarul din Oltenia cu privire la sare, petrol și ape naturale. Extras din anuarul Institutului geologic al României, an i., fasc. No. 1. – București: An. Inst. Geol. Rom., 1908. – 128 p.

25. **The trovants** (Sandsteinkonkretionen) from the Carpathian area and summary data on these pseudo-concretions reported on the Earth / M. Țicleanu, J. Wojewoda, R. Nicolescu et al. // 34th International Geological Congress. – Brisbane, 2012. – Abstract and poster.

26. **Țicleanu M.** The trovants in Romania // 12th annual NECLIME meeting 27–30th sept. 2011. Guide of excursion. – Bucharest: Edited by the Geological Institute of Romania, 2011. – P. 50–55. – (Special Issue. Anuarul Institutului geologic al României; vol. 77).

27. **Țicleanu M., Popescu A., Țicleanu N.** Rolul determinant al factorului mecanic (seismic) în procesul de formare a trovanților. Trovanții meoțieni de la Costești // Geografia județului Vâlcea – Teorie și practică. Vol. III. – Râmnicu-Vâlcea: Editura Offsetcolor, 2003. – P. 20–33.

REFERENCES

- Makedonov A.V., Predtechenskiy N.N. *Atlas konkretsiy* [Atlas of concretions]. Leningrad, Nedra Publ., 1988. 323 p. (In Russ.).
- Gavrilov Yu.O. [Diagenetic concretions in sediments of different types, mechanisms of formation]. *Litologiya i ya: ot idey do vyvodov. Materialy 3-y Vserossiyskoy shkoly studentov, aspirantov, molodykh uchennykh i spetsialistov po litologii* [Lithology and Me: from idea to conclusions. Materials of the 3rd All-Russian School of Students, Postgraduates, Young Scientists and Specialists in Lithology]. Yekaterinburg, IGG UrB RAS Publ., 2018, pp. 1217. (In Russ.).
- Smetannikova L.I., Grinenko V.S., Malanin Yu.A., et al. *Geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, masshtab 1:1 000 000 (tretye pokoleniye). Seriya Anabaro-Vilyuyskaya, list R-51-Dzhardhan. Obyasnitelnaya zapiska* [Geological map of the Russian Federation at a scale of 1: 1 000 000 (third edition). Series Anabar-Vilyui, sheet R-51-Dzhardan. Explanatory note]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2013. 397 p. (In Russ.).
- Golynets F.F. *Geologicheskaya karta pravoberezhya reki Kopra v srednem techenii (v zap. chasti 75-go lista)* [Geological map of the Kopra River right bank in the middle course (western part of 75th sheet)]. Saratov, 1980. 8 p. (In Russ.).
- Grabovskiy R.I. *Kurs fiziki* [Physics course]. Saint Petersburg, Lan Publ., 2012. 608 p. (In Russ.).
- Druzhinin G.V., Oborin S.V. [The location of large spherical sandstone nodules is a unique geological object of the Kirov region]. *Unikalnyye geologicheskiye obyekty Rossii. Doklad v VSEGEI* [Unique geological objects of Kirov region. Report to VSEGEI]. Saint Petersburg, 2013. Available at: http://www.geomem.ru/site_confer_report.php?idr=10. (In Russ.).
- Yeskov K.Yu. *Udivitel'naya paleontologiya: Istoriya Zemli i zhizni na ney (Seriya: O chem umolchali uchebniki)* [Remarkable paleontology: History of the Earth and life thereon]. Moscow, ENAS Publ., 2008. 312 p. (In Russ.).
- Yefimova M.A. [Sandy concretions in the section near Makarovo village of the Ishimbai district of the Bashkortostan Republic]. *IV Vserossiyskaya molodezhnaya geologicheskaya konferentsiya "Geologiya, geoekologiya i resursnyy potentsial Urala i sopredelnykh territoriy"* [Geology, Geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories. Materials of the 4th All-Russian Youth Conference. Ufa, September 19–23, 2016]. Ufa, 2016, pp. 169–170. (In Russ.).
- Zubkov M.Yu. [Some models of concretion origin]. *Postsedimentatsionnoye mineraloobrazovaniye v osadochnykh formatsiyakh* [Postsedimentation mineralogenesis in sedimentary formations]. Tyumen, ZapSibNIGNI Publ., 1985, pp. 43–51. (In Russ.).
- Konkretsii i konkretsiionnyy analiz* [Concretions and concretion analysis]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 246 p. (In Russ.).
- Letnikov F.A. [Synergy of geological processes in the history of the Earth]. *Vestnik IrGShA*, 2013, vol. 57, pt. 2, pp. 109–115. (In Russ.).
- Nikitin P.A. *Pliotsenovyye i chetvertichnyye flory Voronezhskoy oblasti* [Pliocene and Quaternary floras of the Voronezh Region]. Moscow, Leningrad, AS USSR Publ., 1957. 208 p. (In Russ.).
- Nikolis G., Prigozhin I. *Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh: ot dissipativnykh struktur k uporyadochennosti cherez fluktuatsii* [Self-organization in nonequilibrium systems: From dissipative structures for ordering through fluctuations]. Moscow, Mir Publ., 1979. 512 p. (In Russ.).
- Vartan I.A., Prokashev A.M., Skvortsov A.A., Skvortsova L.I. [Specially protected natural and tectogenic territories of the Kirov Region]. *Vestnik Udmurtskogo Universiteta – Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*, 2019, vol. 29, issue 3, pp. 362–373. (In Russ.).
- Polikarpova N.N. *Elektronnyy uchebno-metodicheskiy kompleks* [Electronic training package]. Minsk, BNTU Publ., 2013. 178 p. (In Russ.).
- Ananyeva S.I., Biryukova E.V., Vogorezov A.V., et al. *Priroda Ryazanskoy oblasti* [The nature of Ryazan region]. Ryazan, Ryazan State University Publ., 2019. 268 p. (In Russ.).
- Sletov V.A. [Lyubertsy sand pits and Lyubertsy ponds. Geological tour]. *Pamyatniki prirody Podmoskovya. Doklad vo VSEGEI* [Podmoskovye natural monu-



ments. Report to VSEGEI]. Available at: http://mindraw.web.ru/rod20_geo.htm (In Russ.).

18. Shurygin B.N., Devyatov V.G., Zakharov V.A., et al. [Stratigraphy of the Jurassic of East Siberia (exploration maturity, major problems and solutions)]. *Vestnik Goskomgeologii. Materialy po geologii i poleznym iskopaemym Respubliki Sakha (Yakutiya)*, 2001, no. 1, pp. 112–139. (In Russ.).

19. Suzdalskiy O.V. [Concretions of post Paleogene sediments of the Ust-Yenisei depression]. *Uchenyye zapiski NIIGA, seriya regionalnaya geologiya*, 1965, vol. 5, pp. 127–153. (In Russ.).

20. Shvartsev S.L. [Basic processes and mechanisms of the water-rock system evolution]. *Izvestiya TPU. Hidrogeologiya i inzhenernaya geologiya – Bulletin of Polytechnic University. Hydrogeology and Engineer Geology*, 2007, vol. 311, no. 1, pp. 103–113. (In Russ.).

21. Țicleanu M., Pantea A., Constantin A., et al. Concrețiunile grezoase (trovanții) depozitelor cretacee și neozoice din arealul carpatic (Romania). *Analele Științifice ale Universității "Alexandru Ioan Cuza". Serie nouă. Special Issue "Geologie, Proceedings of the International Symposium "Geology of Natural Systems"*. Iași: Geo Publ., 2010, pp. 241–247. (In Roman.).

22. Grigorescu D. Cultural geology. Interlinking Earth Sciences, history and philosophy Geosciences in the 21st century. *Geosciences in the 21st century. Sym-*

posium dedicated to the 80th anniversary of Professor Emil Constantinescu. Extended abstracts. Bucharest: GeoEcoMar, 2019, pp. 58–63.

23. Țicleanu M., Pantea A., Constantin A., et al. Hypothesis on the paleodynamic (paleoseismic) origin of the trovants ("Sandsteinkonkretionen"). *33rd International Geological Congress*. Oslo, 2008. (Abstract and poster STP01317P).

24. Murgoci G. Terțiarul din Oltenia cu privire la sare, petrol și ape naturale. *Extras din anuarul institutului geologic al României, an I., fasc. no. 1*. București, An. Inst. Geol. Rom. Publ., 1908. 128 p. (In Roman.).

25. Țicleanu M., Wojewoda J., Nicolescu R., et al. The trovants (Sandsteinkonkretionen) from the Carpathian area and summary data on these pseudo-concretions reported on the Earth. *34th International Geological Congress*. Brisbane, 2012. Abstract and poster.

26. Țicleanu M. The trovants in Romania. *12th annual NECLIME meeting 27–30th sept. 2011. Guide of excursion*. Bucharest: Edited by the Geological Institute of Romania, 2011, pp. 50–55. – (Special Issue. Anuarul Institutului geologic al României; vol. 77).

27. Țicleanu M., Popescu A., Țicleanu N. Rolul determinant al factorului mecanic (seismic) în procesul de formare a trovanților. Trovanții meoțieni de la Costești. *Geografia județului Vâlcea – Teorie și practică. Vol. III. Râmnicu-Vâlcea, Editura Offsetcolor*, 2003. pp. 20–33. (In Roman.).

© Г. С. Федосеев, Д. Ю. Большианов, 2021