

УДК 551.83

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-202-222>

Оригинальная статья

Алмазоносность нижнекаменноугольных отложений западной части Сибирской платформы

Н. И. Акулов[✉], А. С. Гладков, И. А. Громова

Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация

[✉]akulov@crust.irk.ru

Аннотация

Выполненное исследование направлено на изучение фундаментальной проблемы по установлению роли литолого-палеогеографических обстановок на древних платформах при формировании алмазообразующих систем на рубеже среднепалеозойской (D_3-C_1) тектономагматической перестройки. Основное внимание сосредоточено на стратиграфии нижнекаменноугольных отложений, палеогеографических условиях их накопления и содержащихся в них алмазоносных коллекторах. Установлено, что формирование алмазоносных россыпей происходило в прибрежно-морских и озерных условиях из источников ближнего и дальнего переноса. На представленных в статье литолого-палеогеографических картах показаны места расположения осадочных бассейнов и других ландшафтных зон, позволяющие судить о локализации областей сноса терригенного материала и оконтурить перспективные площади для проведения алмазопромысловых работ.

Ключевые слова: Сибирская платформа, алмазы, палеогеографическая реконструкция, нижний карбон

Финансирование. Исследование проведено в рамках государственного задания ИЗК СО РАН на оказание государственных услуг (выполнения работ) (№ 075-01434-23-00 от 29.12.2022).

Для цитирования: Акулов Н.И., Гладков А.С., Громова И.А. Алмазоносность нижнекаменноугольных отложений западной части Сибирской платформы. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(2):202–222. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-202-222>

Original article

Diamond potential of the lower carboniferous deposits on the western part of the Siberian platform

N. I. Akulov[✉], A. S. Gladkov, I. A. Gromova

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation

[✉]akulov@crust.irk.ru

Abstract

In this study, we aimed to investigate the fundamental problem of identifying the role of lithological and paleogeographic settings on ancient platforms during the development of diamond-forming systems at the turn of the Middle Paleozoic (D_3-C_1) tectonic and magmatic reconstruction. The main focus was on the stratigraphy of the Carboniferous (Mississippian) deposits, the paleogeographic conditions of their accumulation, and their diamond-bearing reservoirs. The lithological and paleogeographic maps provided in this article show the locations of the sedimentary basins and other landscape zones, which allow the identification of demolition areas of terrigenous materials and delineate attractive areas for diamond prospecting activity.

Keywords: Siberian Platform, diamond, paleogeographic reconstruction, Lower Carboniferous

Funding. This study was carried out within the framework of the state assignment to the IEC SB RAS (number 075-01434-23-00, dated 29.12.2022).

For citation: Akulov N.I., Gladkov A.S., Gromova I.A. Diamond potential of the lower carboniferous deposits on the western part of the Siberian Platform. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):202–222. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-202-222>

Введение

Более 60 лет ведется добыча алмазов в Якутской алмазодобывающей провинции, расположенной в восточной части Сибирской платформы. В районе западного борта этой платформы коренных источников алмазов до сих пор не установлено, хотя и здесь в составе нижнекаменноугольных отложений обнаружены многочисленные алмазы и их спутники. Как сформировался нижнекаменноугольный алмазодобывающий коллектор западного фланга платформы и что он из себя представляет? На эти и другие вопросы постараемся ответить в данной статье.

Многие исследователи при изучении закономерностей распространения каменноугольных отложений отмечали разнообразие их состава и строения в разных частях Сибирской платформы и выделили ряд структурно-фациальных или структурно-седиментационных зон, которые позднее стали рассматриваться как осадочные палеобассейны Ангарида [9]. Идею о былом существовании Ангарского материка (Ангарида) высказал Э. Зюсс в своем фундаментальном «Лике Земли» [48]. Тем не менее, многие годы считалось, что Ангарида – гипотетический материк, возможно, существовавший на месте Северной Азии с позднеордовикской эпохи до мезозоя включительно [18]. Понятие «Ангарида» как огромная сибирская суша ранее использовалось преимущественно при исследовании основных этапов развития фауны в морях, омывавших ее в прошлом, палеоландшафтов, существовавших на древней суше, и флоры, произраставшей на их площадях, – «флора ангарской серии». Это работы А. Грабау [49], А.А. Борисьяка [13], А.Н. Криштафовича [29], В.М. Синицына [40], С.В. Мейена [33, 34], О.А. Бетехтиной [12]. Об Ангариде писали В.Н. Дубатовов [22], В.Н. Дубатовов совместно с В.И. Красновым [23], Е.А. Елкин с Г.М. Прашкевичем [24] и А.Г. Клец [28].

В процессе многолетних исследований, проведенных нами, сложилась единая обобщающая картина становления Ангарида, а также последовательность ее развития и алмазодобывающей [1–4, 6, 7, 8, 10, 45].

Данное исследование целиком направлено на решение фундаментальной проблемы установления роли литолого-палеогеографических обстановок на древних платформах (на примере Сибирской платформы) при формировании алмазодобывающих систем на рубеже среднепале-

озойской (D_3-C_1) перестройки (эпиplatformенного орогенеза).

Актуальность работы заключается в исследовании условий формирования нижнекаменноугольных отложений и реконструкции палеогеографической обстановки, на основе которой могут быть оконтурены перспективные площади для поисков новых месторождений алмазов. В связи с этим основное внимание сосредоточено на изучении стратиграфии нижнекаменноугольных отложений, палеогеографических условий их накопления и содержащихся в них алмазодобывающих коллекторов.

Материалы и методы

В основу статьи положены результаты полевых работ по изучению верхнепалеозойских отложений в южной части Сибирской платформы и в зоне ее сочленения с Енисейским краем (рис. 1). В полевых условиях осуществлялась пироповая съемка с помощью шлихового опробования перспективных отложений и изучались фациальные условия их накопления. Выполнено исследование шлиховых проб под биноклем и сделано их описание. Химический состав наиболее представительных зерен пиропов получен с помощью электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализатора JXA8200. Результаты, полученные с помощью электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализатора, приведены в массовых процентах, а данные минералогического анализа – в количественных.

За последние три года проведен анализ 43 геологических карт масштаба 1:200 000, а также изданных к ним объяснительных записок. Большое внимание уделено Государственным геологическим картам третьего поколения (масштаб 1:1000 000), в состав которых входит исследуемая территория. Выполнено петрографическое изучение 123 шлифов пород из нижнекаменноугольных коллекторов и выполнено их описание.

Литолого-палеогеографические реконструкции осуществлены согласно классическим методическим указаниям [32]. Представленная в статье схематическая литолого-палеогеографическая карта составлена согласно требованиям, предъявляемым к данному виду работ [44].

Результаты исследований

В общепринятой региональной стратиграфической схеме [38] нижний отдел каменноуголь-



Рис. 1. Обзорная схема района исследований с элементами палеорекострукции (раннекаменноугольная эпоха)

Fig. 1. Overview scheme of the study area with elements of paleoreconstruction (Early Carboniferous Period)

ной системы исследуемой территории представлен тушамской свитой, положенной в основу для реконструкции тушамского горизонта. Тушамская свита вскрыта в отрогах Енисейского кряжа (район устья р. Ангара). Именно здесь завершил свое существование Тушамский (Ангаро-Тунгусский) седиментационный бассейн. Впоследствии в западной части платформы нижнекаменноугольные породы были обособлены в виде тычанской, шушукской, суриндинской и других свит и слоевых комплексов [14]. Тем не менее до сих пор вопросы объема, границ и возраста тушамского горизонта продолжают оставаться дискуссионными. Прежде чем перейдем к рас-

смотрению литолого-палеогеографических карт, постараемся понять каким образом связаны между собой вышеперечисленные свиты?

В составе ископаемых растительных остатков тушамской свиты М.Ф. Нейбург [35] обнаружила окаменевшие стволы лепидофитов визейско-серпуховского возраста. Возраст свиты неоднократно уточнялся, а так как различался в зависимости от местонахождения отобранных проб, то единое геологическое тело стали рассматривать под видом различных свит (чемдальской, челдуйской и т. д.). Впоследствии О.А. Бетехтина писала, что в Приангарье в районе ее стратотипа установлена турнейская и визейская флора, а в

районе р. Чадобец она содержит евсеевскую флору серпуховского возраста [12]. Причиной этого возрастного несоответствия отложений единого геологического тела, сформированного в Ангаро-Тунгусском осадочном бассейне, явилось большое возрастное различие отложений, возникшее вследствие смещения бассейна седиментации под воздействием поднятия гетерогенных блоков фундамента платформы [5]. Произошла медленная миграция (ингрессия) бассейна седиментации в западном направлении. Подобная внутриконтинентальная ингрессия была отмечена во многих осадочных бассейнах Мира [50, 47].

В настоящее время получен новый материал, полностью подтверждающий модель последовательности этой ингрессии (рис. 2). Проведенный фациальный анализ исследуемых отложений позволил установить, что миграция депоцентра Ангаро-Тунгусского осадочного бассейна происходила с востока на запад на протяжении всей раннекаменноугольной эпохи, включая ее переходные временные рубежи. Именно поэтому в однообразном псаммитовом составе осадочного наполнения бассейна обнаружены ископаемые остатки и споры растений турнейского, визейского и серпуховского возрастов [9]. Именно поэтому тушамский горизонт не имеет четкой палеонтологической характеристики.

Древнее Таймырское мелководное море заходило далеко в глубь Сибирской платформы, образуя обширные заливы и равнины, временами заливаемые морем (рис. 3). Именно в этих условиях формировались нижнекаменноугольные отложения тычанской, шушукской, суриндинской свит, а также «бедошминские», «танадинские» и другие слоевые комплексы.

Тычанская свита впервые выявлена в среднем течении р. Тычаны [31]. Ее стратиграфическими аналогами являются отложения шушукской и тушамской свит (рис. 4). В основании свиты располагаются переотложенные продукты коры выветривания. Они представлены каолиновыми аргиллитами, которые перекрывают грубообломочные отложения, содержащие визе-серпуховские и спорадические верхнедевонские миоспоры, что позволяет сопоставлять их с тушамской свитой Ангаро-Тунгусского бассейна. Присутствие в составе нижней части свиты девонских миоспор свидетельствует о размыве и переотложении не только каолиновой коры выветривания, но и верхнедевонских отложений. Необходимо отметить, что девонские миоспоры

обнаружены не только в базальных слоях свиты, но и в породах ее верхней части. Песчаники вмещают отдельные валуны окремненных строма-толитовых доломитов ордовика и плавающую¹ гальку кварцитовидных песчаников.

Для свиты характерно большое количество материала со слабой гранулометрической сортировкой и беспорядочная пространственная ориентировка удлиненных обломков гравийно-галечного материала. Их базальный конгломератовый пласт (0,4–1,6 м) залегает на размытой поверхности известняков нижнего ордовика. Матриком у конгломератов служат лимонитизированные кварцевые алевропесчаники с примесью каолинита.

Выше по разрезу залегают зеленовато-серые, иногда охристо-бурые песчаники и алевропесчаники с тонкими (до 2 см) линзовидными прослойками зеленых аргиллитов. По всему разрезу пачки встречаются редкая галька и гравий кремневого состава. Кровля свиты сложена зеленовато-серыми и серыми известковистыми кварцевыми алевролитами и алевропесчаниками.

Следует отметить, что в местах развития карбонатно-терригенных образований верхнего кембрия базальный гравийно-галечный пласт тычанской свиты залегает на каолинит-маршаллитовой коре выветривания. Иногда в западинах погребенного рельефа, на размытой коре выветривания встречаются слабо литифицированные кварцевые песчаники, неравномерно обогащенные гравийно-галечным материалом, в составе которого содержатся алмазы и их спутники.

Кропотливый поиск ископаемых отпечатков флоры позволил обнаружить только один отпечаток лепидофита плохой сохранности, который, по определению Л.Н. Петерсон [36], относится к *Angarodendron obrutschewii* Zal. По ее данным, шушукский споровый комплекс содержит большое количество (до 45 %) мелких отороченных спор лепидофитов родов *Lycospora*, *Densosporites* и *Vallatisporites*. Кроме того, в его составе выявлены *Granulatisporites testicutatus* Luben, *Umbonatisporites sibiricus* Pashkevich, *Spelaeotrietes baculus* Peterson, *Retusotrietes setosus* Kedo, *Auroraspora hyalina* (Naumova) var. *tournensis* Kedo, *Grandispora luteoia* (Naumova) Avchimovich, *Asperispora naumova* Stapiin et Jansoni-

¹ Плавающая галька – это наличие отдельных хорошо окатанных, но весьма разобщенных галек в составе массивных псаммитовых преимущественно дельтовых отложений.

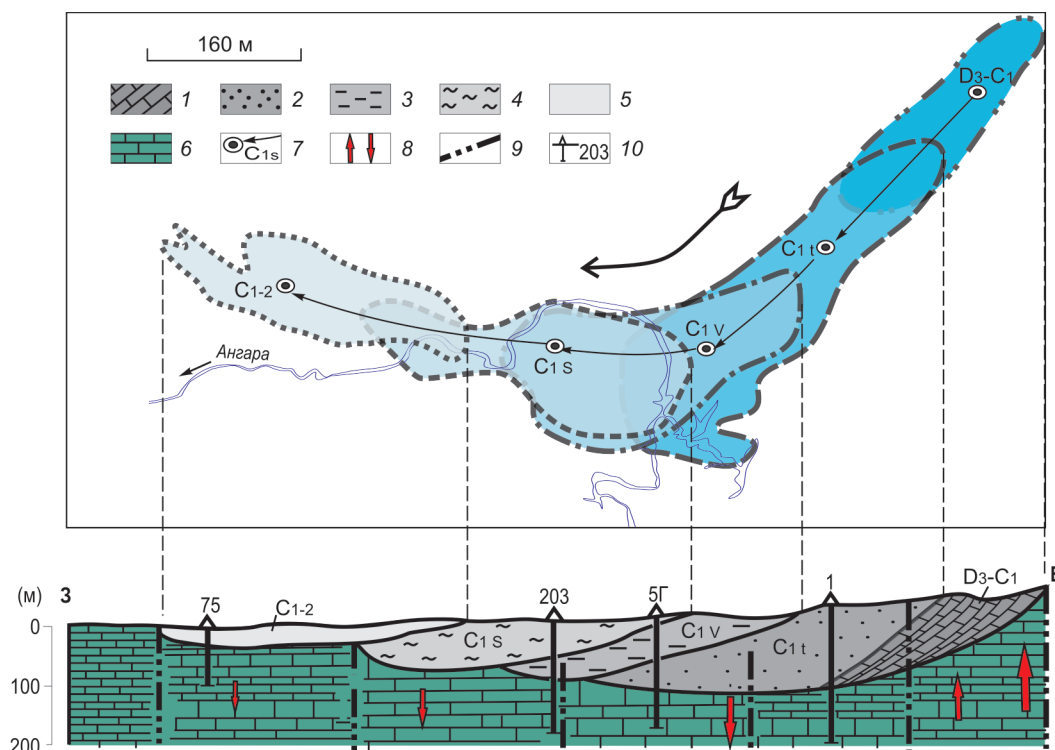


Рис. 2. Схема миграции Ангаро-Тунгусского бассейна седиментации в течение раннекаменноугольной эпохи.

1 – нерасчлененные девонские и нижнекаменноугольные карбонатизированные отложения; 2–4 – нижнекаменноугольные породы различных ярусов: 2 – турнейского, 3 – визейского, 4 – серпуховского; 5 – нерасчлененные ниже- и среднекаменноугольные; 6 – подстилающие карбонатные породы кембрия и терригенно-карбонатные – ордовика; 7 – направление миграции депозцентра; 8 – господствующее направление тектонических движений; 9 – тектонические нарушения (разломы); 10 – опорная скважина и ее номер

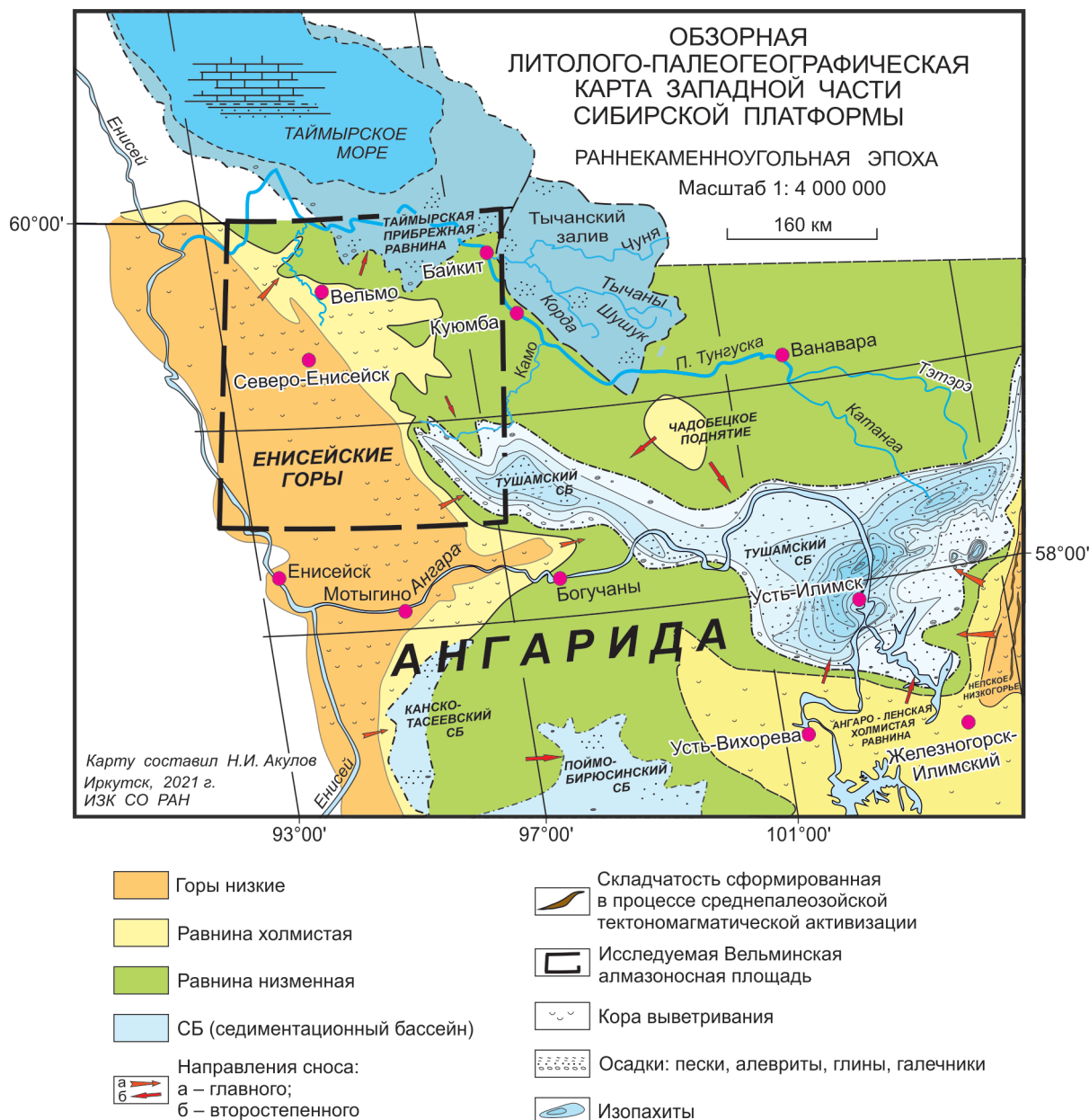
Fig. 2. Scheme of migration of the Angara-Tunguska sedimentation basin during the Early Carboniferous Period.

1 – undivided Devonian and Lower Carboniferous carbonatized deposits; 2–4 – Lower Carboniferous rocks of various stages: 2 – Tournaisian, 3 – Viséan, 4 – Serpukhovian; 5 – undivided Lower and Middle Carboniferous; 6 – underlying Cambrian carbonate rocks and Ordovician terrigenous-carbonate rocks; 7 – direction of depocenter migration; 8 – dominant direction of tectonic movements; 9 – tectonic faults; 10 – reference well and its number

us. Отмечены значительное количество гладких плотных спор *Punctatisporites platirugosus* (Waltz) Sullivan, *P. plicatus* (Waltz) Sullivan и споры девонского облика *Grandispora rugosa*, *G. basilaris*, *Stenozonotriletes*, *Retusotriletes* и *Archaeozonotriletes*. Завершают приведенный список четырехлучевые споры и акритархи *Zonales* *saccatus* Troskova. По сходству данного спорового комплекса с комплексом верхотомского горизонта Кузбасса и верхней части курунгурахской свиты северо-восточной части Сибирской платформы (Кемпендйская впадина) свита датирована визейским веком.

На юго-востоке от поля развития тычанских алмазонасных отложений в субмеридиональном направлении простираются аналогичные алмазонасные образования, названные шушукским коллектором (шушукской свитой).

Шушукская свита впервые описана А.В. Крюковым по керну из скважин на Шушукском поднятии [30]. Это полный стратиграфический аналог тычанской свиты, но который залегает с размывом на породах нижнего палеозоя и перекрыт угленосными отложениями. Свита представлена серыми, голубовато- и зеленовато-серыми тонкослоистыми известковистыми алевролитами и аргиллитами с редкими прослоями алевропесчаников. В ее основании расположены серые мелкозернистые кварцевые гравелистые песчаники, которые вмещают реликты каолиновой коры выветривания. В составе свиты встречаются прослои алевропесчаников и песчаников с трещинами усыхания на плоскостях наложения, выполненные кальцитом. Для пород средней и верхней частей свиты характерна тонкая и тончайшая горизонтальная слоистость, подчеркнутая раз-



**ЛЕГЕНДА К ЛИТОЛОГО-ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ВЕЛЬМИНСКАЯ ПЛОЩАДЬ)**

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ

Горы низкие
Равнина холмистая
Равнина низменная
Озеро
Прибрежная низменная равнина, временно заливаемая морем
Море

ХАРАКТЕРНЫЕ ТИПЫ ОТЛОЖЕНИЙ

Галечник с гравием	Вулканический пепел
Галечник с песком	Песок с пирокластическим материалом
Песок с включением отдельных галек (плавающих галек)	Глина с пирокластическим материалом
Песок с плавающими гальками из аргиллитов	Равномерное чередование отложений
Песок	Господство песчаных отложений над глинистыми

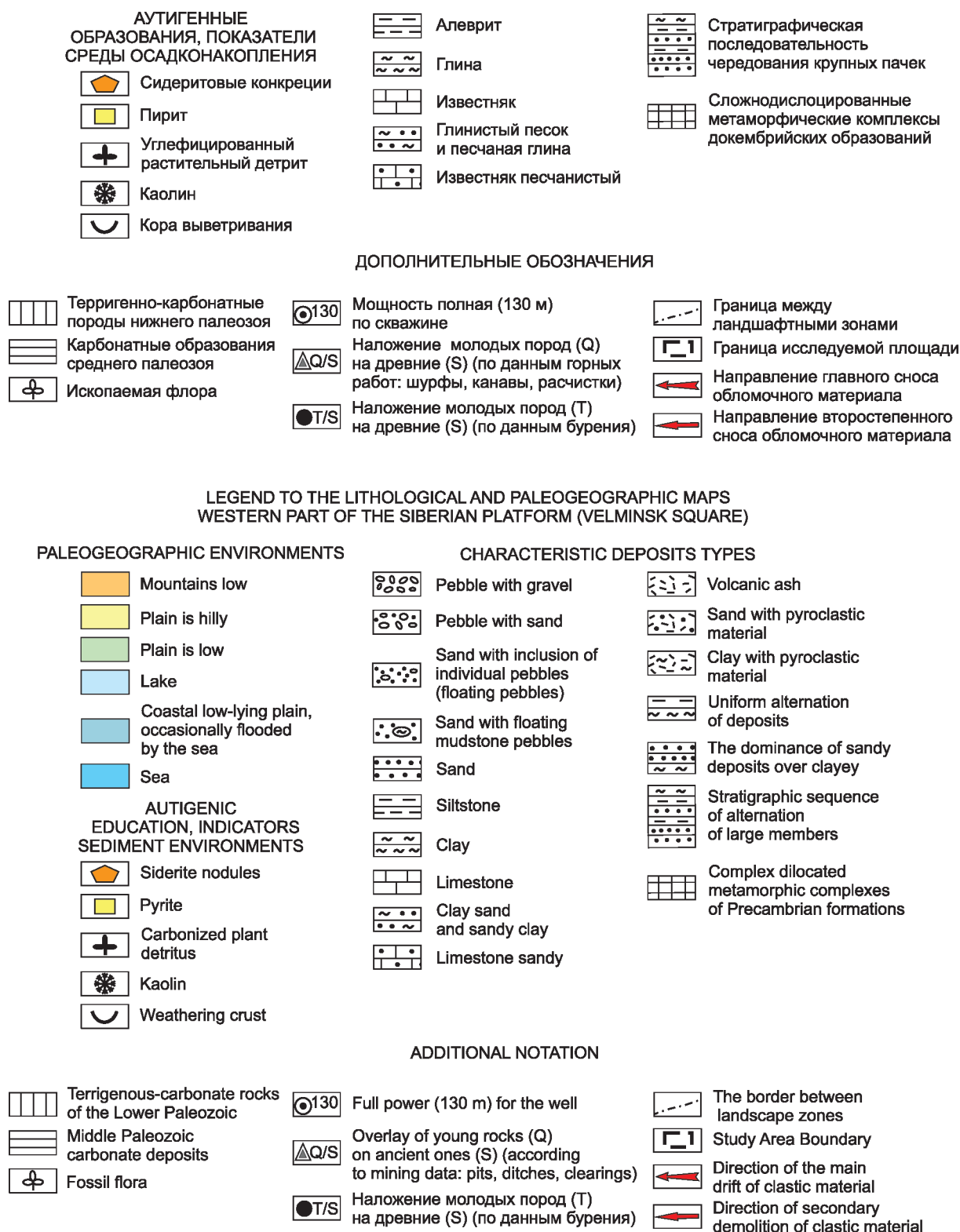


Рис. 3. Обзорная литолого-палеогеографическая карта западной части Сибирской платформы (раннекаменноугольная эпоха). Карта составлена Н.И. Акуловым

Fig. 3. Overview lithological and paleogeographic map of the western part of the Siberian Platform (Early Carboniferous Period). The map was compiled by N.I. Akulov.

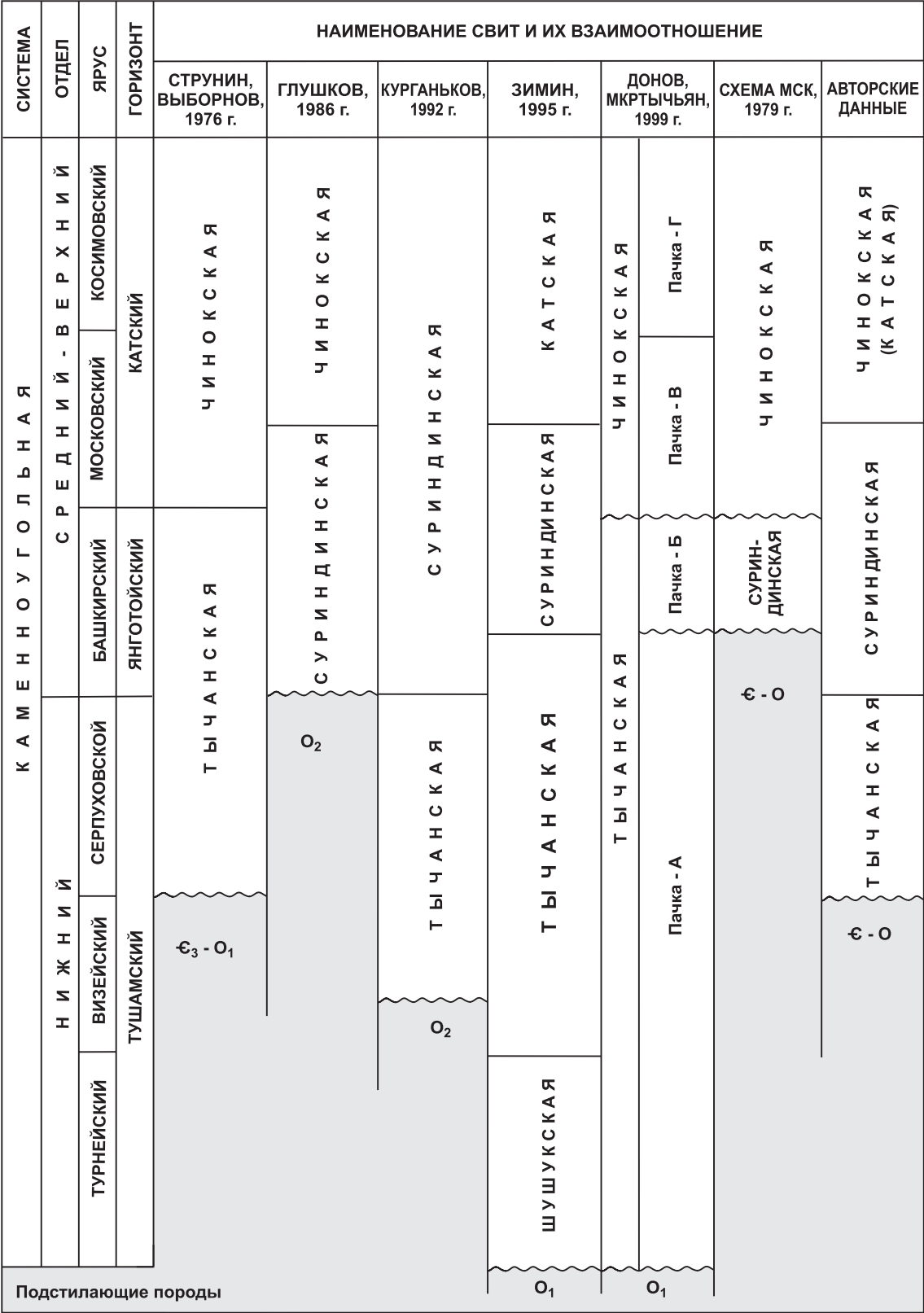


Рис. 4. Схема взаимоотношения алмазоносных отложений в западной части Сибирской платформы

Fig. 4. Scheme of the relationship of diamond-bearing deposits on the western part of the Siberian Platform

мерностью зерен и разной степенью известковистости. В составе тяжелой фракции песчаников содержатся ильменит, магнетит, пироксен, турмалин, циркон, барит, эпидот, рутил, лейкоксен, альмандин и пироп. Особенности литологического состава данных отложений и последовательность их напластования в разрезе позволяют отнести их к мелководным, прибрежно-морским.

Споровый комплекс, выявленный в составе свиты, состоит как из переотложенных девонских форм, так и из спор раннекаменноугольного возраста. Всего в исследуемых отложениях обнаружено более 80 видов спор [36]. Изученные комплексы миоспор позволяют коррелировать вмещающие их отложения с визе-серпуховскими образованиями. Вскрытая мощность свиты 17–25 м.

Суриндинская свита впервые выделена Ю.С. Глуховым [19] в бассейне р. Суринда, где она с размывом залегает на различных горизонтах силура и девона и перекрывается угленосными отложениями чинокской свиты. Свита представлена ритмично-слоистыми разнотекстурными песчаниками (кварцевыми, олигомиктово-кварцевыми и кварц-полевошпатовыми) и алевролитами серовато-розовой окраски с горизонтальной, волнистой, линзовидно-волнистой и косо-волнистой слоистостью.

Отложения суриндинской свиты и ее возрастные аналоги имеют важное значение для поисков алмазов. В Якутской алмазоносной провинции подобные доугленосные слои лапчанской свиты являются основным промежуточным коллектором алмазов с промышленной алмазоносностью.

Возраст свиты обоснован по находкам отпечатков ископаемых растений *Angarodendron obrutschewii* Zal. и многочисленного комплекса миоспор, указывающих на принадлежность данных отложений к янготойскому горизонту (средний карбон).

Чинокская свита выделена Ю.С. Глуховым [19] по керну из скважин, пройденных в среднем течении р. Подкаменная Тунгуска. Средняя мощность свиты около 50 м. Ее стратиграфическим аналогом является широко развитая на Сибирской платформе промышленно-угленосная катская свита.

В береговых разрезах высотой до 30 м она согласно залегает на тычанской свите и сложена желтовато-серыми и серыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами и каменными углями рабочей мощности. По сведениям Н.Б. Доновой [21],

на правом берегу р. Чуня, в нижней части чинокской свиты обнаружена фауна пелеципод *Anthrocomya (?) pigmaea* Tschern., *A. tatarica* Tschern. (определения И.М. Маловецкой), конхострак *Limnadia triangularis* Fritsch (определения Н.И. Новожилова) и рыб *Acrolepis macropoma* Berg (определения Д.В. Обручева). Кроме того, в чинокской свите выделены два флористических комплекса. По определениям Е.С. Рассказовой, С.В. Мейена и других исследователей [36], нижний комплекс представлен *Paracalamites* sp., *Cordaitea* sp., *Samaropsis* sp., *Angarodendron* cf. *obruschewii* Zalesky, *Angaropteridium* sp., *A. cardiopteroides* (Schmalhausen) Zalesky, *Koretrophyllites mungaticus* Radczenko, *Annularia asteriscus* Zalesky, *Angaridium potanini* (Schmalhausen) Zalesky, *Ruflorea subangusta* (Zalesky) S. Meyen, *R. tschirkovae* (Zalesky) S. Meyen, *Neuropteris izylensis* (Tschirkova) S. Meyen. Верхний комплекс представлен *Ruflorea theodori* (Zalesky et Tschirkova) S. Meyen, *R. subangusta* (Zalesky) S. Meyen, *Samaropsis subrotunda* Rasskazova, *S. jurabaensis* Rasskazova, *S. ungensis* Zalesky, *Samarospadix penicillata* Neuburg, *Paragondwanidium sibiricum* (Petunnikov) S. Meyen, *Neuropteris djavolskiensis* Suchov, *Ginkgophyllum primaevus* Rasskazova, *Angaropteridium cardiopteroides* (Schmalhausen) Zalesky, *Angaridium finale* Neuburg. Характерно присутствие таксонов, близких к пермским, – *Angaridium* typ. *ignotum* Neuburg, *Bardocarpus* aff. *depressus* (Schmalhausen) Zalesky. Согласно многочисленным палеонтологическим находкам, возраст чинокской свиты средне-позднекаменноугольный.

Завершая рассмотрение стратиграфических особенностей нижнекаменноугольных отложений Западной части Сибирской платформы, необходимо затронуть вопрос о так называемых бедошемских и танадинских слоях [16, 17], или правильнее сказать – слоевых комплексах. Это проблематичные нижнекаменноугольные алмазоносные отложения, которые из-за их малой мощности, отсутствия палеонтологических данных и других стратиграфических особенностей невозможно выделить в качестве свит. По всей видимости, это стратиграфические аналоги тычанской свиты.

«Бедошемские» слои (до 10,7 м) распространены в южной части исследуемого района. Они приурочены к коре выветривания, развитой по породам нижнего палеозоя, и перекрыты угленосной формацией Тунгусского угольного бас-

сейна. Их условно делят на две части. Нижняя часть сложена слабосцементированными, в различной степени разнозернистыми косослоистыми кварцевыми песчаниками с линзами конгломератов и гравелитов, состоящих из плохо окатанных обломков окремненных песчаников, кварца и кварцитов. Местами в песчаниках присутствуют отдельные валуны (до 0,35 м) окремненных строматолитовых доломитов и кварцитовидных песчаников, характерных для тычанского коллектора. В конгломератах найдены алмазы и их спутники – пиропы и хромшпинелиды. Верхняя часть представлена светло-серыми разнозернистыми полевошпатово-кварцевыми песчаниками с тонкими линзами и прослоями гравия и светло-коричневых аргиллитов. Фациальный анализ отложений показал, что они сформировались в условиях прибрежно-бассейновых заливных лагун.

«Танадинские» слои (до 9,5 м) развиты в пределах рек Танади и Чандымба, где залегают на размытой поверхности известняков нижнего ордовика, и представлены переслаивающимися светло-серыми, белыми и желтовато-коричневыми кварцевыми песчаниками и алевролитами. К основанию пачки приурочены разногалечные содержащие пиропы конгломераты с примесью угловатых обломков подстилающих пород ордовика.

Следует отметить, что наряду с данными словесными комплексами на исследуемой территории вскрыты нижнекаменноугольные осадки древнего Таймырского моря, которые объединены в состав джалтулинской свиты, в шельфовой зоне фациально замещающей кондроминской.

Джалтулинская свита выделена в 1939 г. В.П. Табеньковым, И.В. Моисеевым и А.Ф. Михайловым в бассейне р. Бахта. Свита залегает с разрывом на образованиях верхнего девона. В ее составе отмечены известковистые алевролиты и аргиллиты, мергели, известняки, песчаники и гравелиты. В песчаниках нижней части свиты присутствуют известковые оолиты и обломки известняков с остатками фораминифер, иглокожих и брахиопод. В верхней части свиты наблюдается примесь пирокластического материала, окраска пород зеленовато-серая. Раннекаменноугольный возраст отложений определен на основании находок фораминифер [39]. Вскрытая толщина свиты 46,5 м. Литологические особенности пород свидетельствуют о накоплении отложений джалтулинской свиты в эпи-

континентальном мелководном бассейне, имевшем периодическую связь с морем.

Кондроминская свита выделена в 1951 г. Г.Ф. Лунгерстаузенем, Н.В. Дреновым и Н.В. Житковой в бассейне р. Кондромо. Она залегает со стратиграфическим несогласием на различных уровнях ордовика, силура, девона. Литологический состав свиты довольно однообразен и представлен крепко сцементированными хорошо отмытыми белыми кварцевыми песчаниками, конгломератами и гравелитами. Конгломераты состоят из округло-уплощенной формы галек и вмещают отдельные валуны. Кондроминская свита, рассматриваемая как фациальный аналог джалтулинской, формировалась, вероятно, в условиях прибрежной низменной равнины с многочисленными мелкими разрозненными бассейнами с активным гидродинамическим режимом. Свита отвечает регрессивному асимметричному макро-ритму в составе песчаных, редко алевроитовых отложений аллювиально-бассейновых фаций. Толщина свиты достигает 45 м.

Алмазоносность отложений

В составе нижнекаменноугольных алмазоносных коллекторов обнаружены кристаллы алмазов и множество высокобарических минералов, морфологические особенности которых указывают на существование местных алмазоносных тел, располагавшихся в провинции питания терригенным материалом.

Многочисленные исследования показали, что раннекаменноугольный этап развития Сибирской платформы начался с активной деятельности эрозионно-денудационных процессов, способствовавших разрушению кимберлитовых тел переходного возраста от позднедевонской эпохи к раннекаменноугольной. В те времена с возвышенных участков (провинций питания) Ангарида из разрушенных выветриванием кимберлитовых тел, под воздействием временных водных потоков происходил снос алмазов и их спутников в бассейны седиментации. Вблизи вулканических тел формировались россыпи ближнего сноса. Их образование происходило не синхронно, местами через века раннекаменноугольной эпохи. На побережье Таймырского моря и в его заливах аккумуляровались алмазоносные россыпи дальнего сноса (тычанский и шушукский коллекторы).

Наиболее детально нами изучен тычанский алмазоносный коллектор, который расположен на площади более 3 тыс. км² и охватывает бас-

сейны рек Тычаны, Чуня и их водораздел (см. рис. 1). Исследованный ореол алмазов приурочен к полю распространения нижнекаменноугольных отложений, который в виде сложно изгибающейся ленты простирается в северо-западном направлении на расстоянии около 250 км. Коллектор залегает на верхнеордовикских отложениях.

В процессе геолого-поисковых работ коллектор был вскрыт и опробован на шести участках. В общем объеме было отмыто 173 т гравийно-песчано-галечной массы, из которой извлечено 77 алмазов (2372,3 мг) при среднем весе 30,8 мг и содержании 13,7 мг/т. Кристаллы алмазов из данного коллектора представлены преимущественно мелкими прозрачными додекаэдрами различной модификации (рис. 5). По определению В.И. Коптиля [26], тычанские алмазы представлены преимущественно октаэдр-ромбододекаэдрами (до 75 %), додекаэдрами (до 15 %) и их обломками (до 10 %). Проведенный гранулометрический анализ алмазов из исследуемых отложений показал, что они тесным образом связаны как с гранулометрией минералов тяжелой фракции, так и с гранулометрией минералов-спутников алмазов, причем последние характеризуются сильным механическим износом и довольно узкой цветовой гаммой, свидетельствующими об их естественной сортировке в процессе неоднократного перемыва и переотложения в прибрежно-морских условиях.

Многолетний опыт изучения морфологии алмазов на Сибирской платформе позволил выделить пять типов алмазов, вероятно, связанных с разными типами коренных источников (кимберлитовый, импактный, лампроитовый и два из неизвестных источников) [11]. На исследуемой территории геологами-производственниками были извлечены алмазы из девяти пространственно-разобщенных участков тычанского алмазоносного коллектора (расстояние между крайними точками около 100 км), для которых характерны высокий (25,2 мг) средний вес кристаллов алмазов и полное отсутствие мелочи (класс $-1+0,5$ мм). Их генетический анализ показал, что они принесены из трех типов первоисточников. Типоморфные особенности алмазов указывают на преобладание алмазов «мирнинского»¹

¹ «Мирнинский» тип – это алмазы, обнаруженные в пределах Якутской алмазоносной провинции, а «енисейский» и «уральский» типы – алмазы, найденные в отрогах Енисейского кряжа и Уральских гор.

типа (свыше половины от всех кристаллов) при заметных содержаниях ассоциации алмазов «енисейского» типа (около 40 %). Из всех изученных алмазов 15 % округлых алмазов «уральского» типа, характерных для терригенных докембрийских формаций Мира [25, 26]. Отмечена тенденция увеличения содержания ассоциации алмазов «енисейского» типа с увеличением крупности кристаллов в классе $-4+2$ мм по сравнению с классом $-2+1$ (почти в 2 раза).

Базальные гравийно-галечные конгломераты, приуроченные к пониженным участкам древнего рельефа, имеют глинисто-карбонатный цемент и обладают мощностью до 1,2 м. Граница распространения коллектора и его ореола до конца не установлена, так как скрыта под более молодыми отложениями. Наряду с пиропами в шлихах, отмытых из протолченных конгломератов и песчаников, присутствует пикроильменит, количество которого достигает 25 % от всего состава минералов тяжелой фракции. Пикроильмениты крупные (до 0,9 мм) представлены угловато-окатанными или неправильно округлыми зернами с бугорчатой резорбированной поверхностью. Нередко они покрыты «рубашкой» из микроагрегатного лейкоксена. Относительно слабая окатанность пикроильменитов, большой размер зерен и наличие на поверхности лейкоксеновой «рубашки» указывают на их сравнительно близкий перенос.

Многочисленные пиропы, содержащиеся в составе тяжелой фракции базальных слоев тычанской свиты, хорошо сортированы и окатаны. На их поверхности видны многочисленные каверны, которые свидетельствуют об их пребывании в коре выветривания (рис. 6). Тычанские пиропы совместно с другими спутниками алмазов прошли путь преобразования своей формы вначале в процессе пребывания их в коре химического выветривания в составе материнских пород, затем в процессе износа при транспортировке и, наконец, в процессе истирания при окатывании и сортировке в прибрежной зоне бассейна седиментации.

Тычанские пиропы по цвету делятся на две группы: светло-фиолетовые (хромсодержащие, ультраосновного парагенезиса) и оранжево-желтые (бесхромовые, эфолитового парагенезиса) (рис. 7). В Якутской алмазоносной провинции подобного цвета пиропы встречены в кимберлитах «Январского» месторождения [27] и в дру-

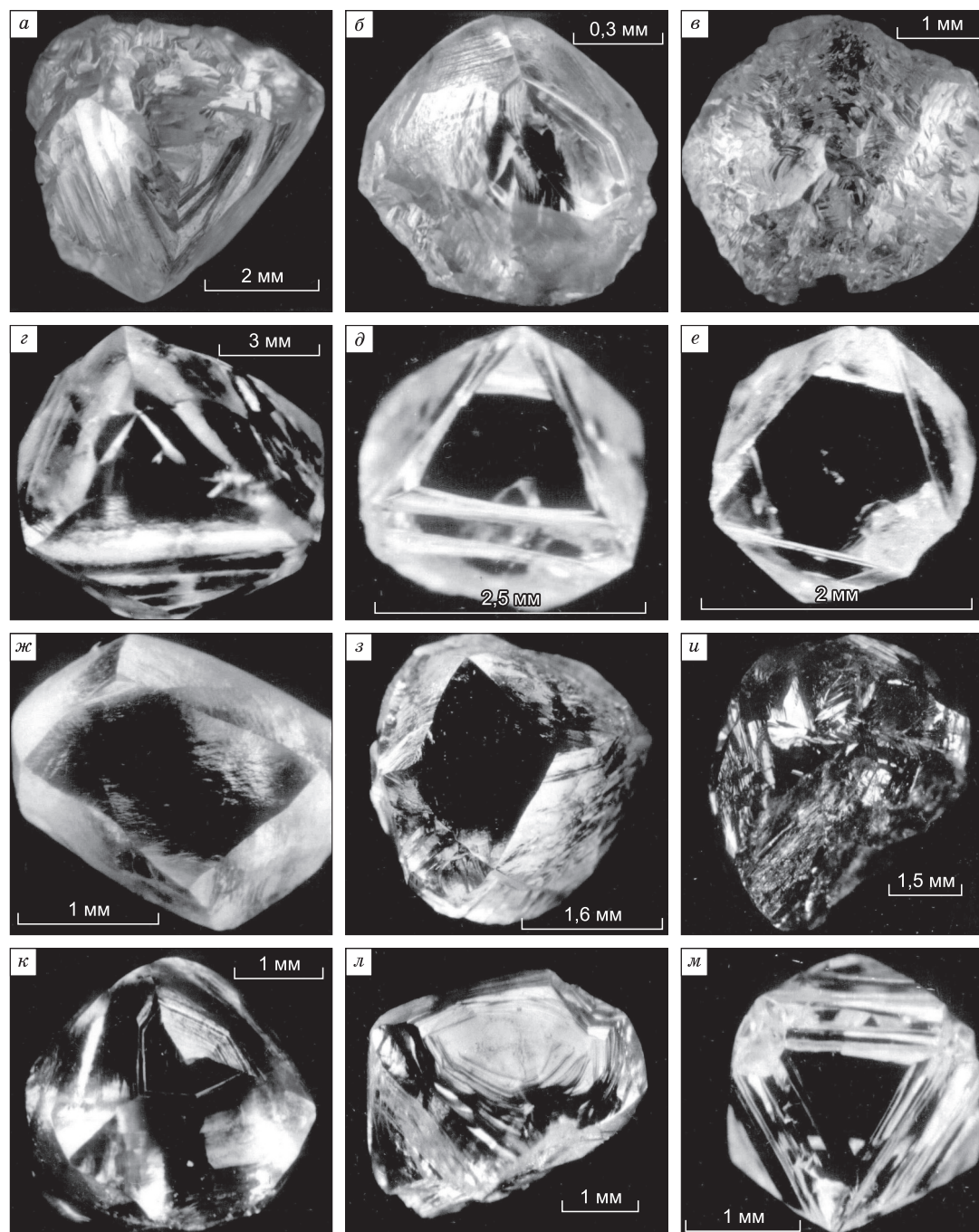


Рис. 5. Алмазы из нижнекаменноугольных отложений западной части Сибирской платформы. Фотографии сделаны С.В. Благодатским и скомпонованы Н.И. Акуловым. Описание алмазов выполнено В.И. Коптелом.

a – бесцветный шпинелевый двойник кристаллов ромбододекаэдрического габитуса весом 61,8 мг, размером 4×3,6×2,6 мм с участка Сунгтапчу-Центральный; *б* – серовато-коричневый шпинелевый двойник додекаэдров весом 10,6 мг; *в* – розовато-коричневый прозрачный шпинелевый двойник кристаллов переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитуса весом 70,4 мг с участка Сунгтапчу-Центральный; *г* – бесцветный и прозрачный кристалл октаэдра, весом 99,7 мг с участка Ханули; *д* – бесцветный октаэдр со сколом аллювиального происхождения, весом 16 мг с участка Бугарикта; *е* – октаэдр с притупленными ребрами с леденцовой скульптурой, весом 16 мг с участка Бугарикта; *жс* – розовато-коричневый додекаэдронд с шагренью, прозрачный, весом 27,9 мг с участка в районе скв.17; *з* – бесцветный и прозрачный шпинелевый двойник додекаэдра с шагренью, весом 111,8 мг с участка в районе скв.17; *и* – дымчато-серый полупрозрачный интенсивно отбитый кристалл ромбододекаэдрического габитуса, весом 188,7 мг с участка Ханули; *к* – бесцветный и прозрачный шпинелевый двойник додекаэдра со сноподобной штриховкой, весом 71,5 мг с участка Ханули; *л* – бесцвет-

ный и прозрачный обломанный кристалл октаэдрического габитуса с участка Кирамкима; *м* – бесцветный и прозрачный кристалл октаэдрического габитуса с вогнутыми гранями с участка Кирамкима

Fig. 5. Diamonds from the Lower Carboniferous deposits on the western part of the Siberian Platform. Photos were taken by S.V. Blagodatsky and arranged by N.I. Akulov. The description of diamonds was made by V.I. Koptel.

a – colorless spinel twin of crystals of rhombic dodecahedral habit weighing 61.8 mg, 4×3.6×2.6 mm in size from the Sungtapchu-Central site; *б* – grayish-brown spinel twin of dodecahedroids weighing 10.6 mg; *в* – pinkish-brown transparent spinel twin of crystals transitional from octahedral to rhombododecahedral habit, weighing 70.4 mg from the Sungtapchu-Central site; *г* – colorless and transparent octahedron crystal, weighing 99.7 mg from the Hanuli site; *д* – colorless octahedron with a cleavage of alluvial origin, weighing 16 mg from the Bugarikt site; *е* – an octahedron with blunt edges with a candy sculpture weighs 16 mg from the Bugarikt site; *ж* – pinkish-brown dodecahedroid with shagreen, transparent, weighs 27.9 mg from a site near well 17; *з* – colorless and transparent spinel twin of a dodecahedron with shagreen, weighs 111.8 mg from a site near well 17; *и* – smoky gray translucent intensely broken crystal of rhombic dodecahedral habit, weighs 188.7 mg from the Khanuli site; *к* – colorless and transparent spinel twin of the dodecahedron with sheaf-like shading, weighs 71.5 mg from the Hanuli site; *л* – colorless and transparent broken crystal of octahedral habit from the Kiramkim site; *м* – colorless and transparent crystal of octahedral habit with concave faces from the Kiramkim site

гих местах [51, 42]. Здесь также преобладают фиолетовые (91 %) пиропы, при этом содержание красных – 5, оранжевых – 3, а розовых – около 1 %.

По данным микронзондового анализа, среднее содержание оксидов хрома в тычанских пиропсах около 3,3 %. Пиропы с подобным содержанием Cr_2O_3 характерны для низкоалмазных трубок Якутской провинции (Амакинская – 1,2 %, Таежная – 1,6, Лось – 1,4 %), в то время как в высокопродуктивных трубках этой провинции их содержание достигает нескольких десятков процентов (Удачная – 21,0 %, Айхал – 20,8 %). Согласно генетической диаграмме, предложенной Н.В. Соболевым [41], основная часть фигуративных точек тычанских пиропов приурочена к классификационному полю лерцолитового парагенезиса (рис. 8). По данным А.П. Гунина и его коллег [20], аналогичный химический состав пиропов отмечен на трубке «Галина» в Архан-

гельской алмазоносной провинции. Кроме того, подобный состав пиропов выявлен и на кимберлитовой трубке «Заполяная» в Якутской алмазоносной провинции [37] (см. рис. 8). Таким образом, исследуемые пиропы несомненно возникли из кимберлитовых тел, которые, по всей видимости, погребены в районе междуречья Вельмо–Подкаменная Тунгуска.

Вещественный состав и условия формирования алмазоносных отложений

Для алмазоносных пород тычанской свиты характерна удовлетворительная сортировка обломочного материала. В составе обломочной составляющей преобладают минералы, устойчивые к химическому выветриванию. Среди зерен размером 0,05–0,5 мм резко преобладают в различной степени окатанные и угловатые, относительно изометричные обломки кварца, достигающие 50 % от общего количества зерен в пробе. В том числе присутствуют различно окатанные обломки кремней, микрокварцитов и халцедона. Их содержание резко возрастает в конгломератах, гравелитах и разнозернистых песчаниках.

Полевые шпаты (до 20 %) встречаются преимущественно в мелких зернах (до 0,25 мм). Обычно они наблюдаются в виде угловатых или полуокатанных, часто удлиненных зерен таблитчатой формы, на 60–90 % представленных ортоклазами и решетчатыми микроклинами. В большинстве случаев они выветрелые (пелитизированы), при этом по плагиоклазам развивается серицит. Часто присутствуют обломки кремнистых и карбонатных (до 20 %) пород. Почти повсеместно присутствуют чешуйки слюд, представленные буровато-коричневым биотитом (до 10 %) и прозрачным мусковитом (до 5 %).

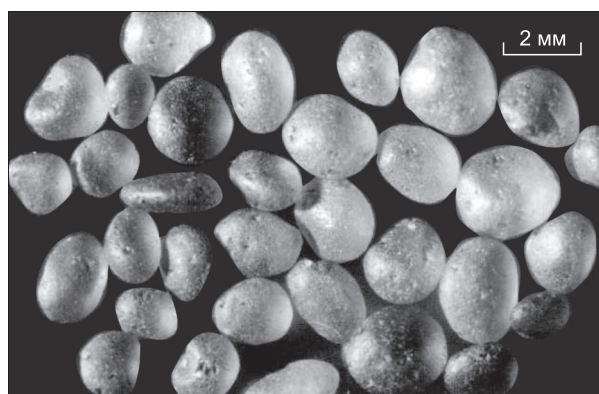


Рис. 6. Хорошо окатанные и сортированные кавернозные пиропы тычанского коллектора (Тычанский залив)

Fig. 6. Well-rounded and sorted cavernous pyropes of the Tychansky reservoir (Tychansky Bay)

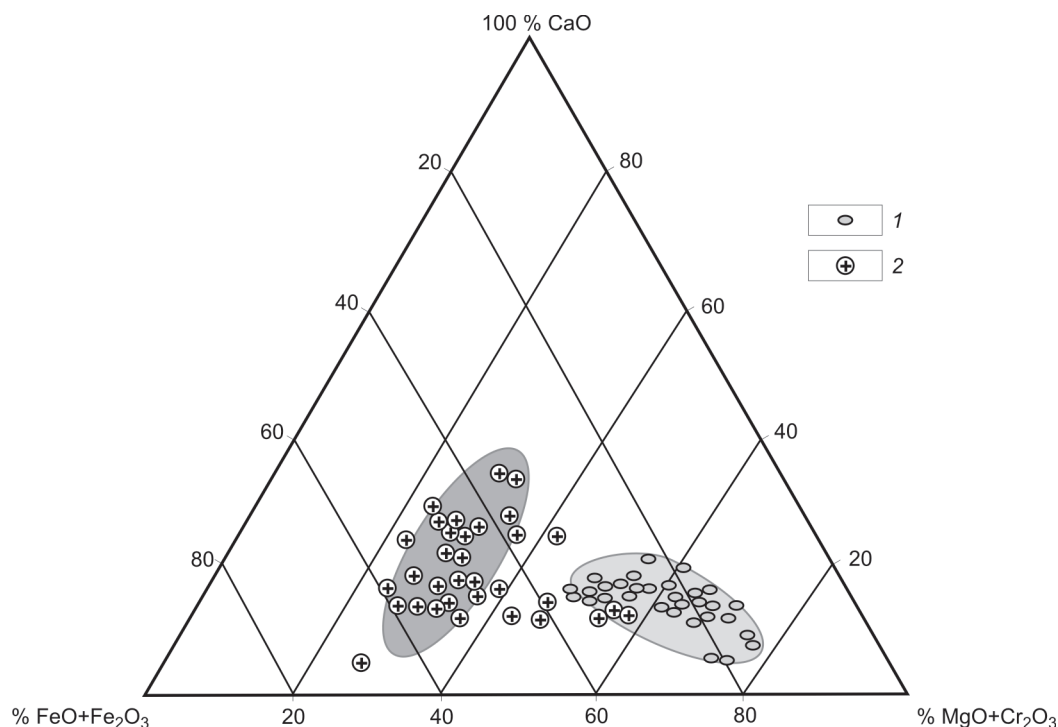


Рис. 7. Содержание некоторых оксидов в пиропсах Тычанского коллектора: 1 – пиропы из ультраосновных и 2 – эклогитовых парагенезисов

Fig. 7. The content of some oxides in the pyropes of the Tychansky reservoir: 1 – pyropes from ultrabasic and 2 – eclogitic parageneses

Количество минералов тяжелой фракции в тычанских породах незначительно (около 1 кг/м³), что свидетельствует о неоднократном перемыыве и переотложении данных отложений. В составе тяжелой фракции размерностью 0,1–0,25 мм господствует ильменит-гранат-цирконовая ассоциация, с наличием турмалина, рутила, апатита, ставролита и шпинели. В долях процента встречаются эпидот, пироксен и хлорит. Содержание ильменита с учетом наличия лейкоксена и анатаза достигает 58 % (рис. 9). Среди гранатов, количество которых достигает 74 %, преобладают бесцветные и розово-красные зерна, местами с кавернозной поверхностью, что свидетельствует об их пребывании в коре выветривания. Важно отметить, что в базальных пластах свиты в составе тяжелой фракции присутствуют пиропы и алмазы. Из аутигенных минералов доминирует пирит, но встречаются марказит и лимонит.

Глинистая фракция в составе цемента песчаников весьма неоднородная. Обычно присутствует один или три глинистых минерала: монтмориллонит, каолинит или гидрослюда. По данным рентгеноструктурного анализа выявлены неупорядочен смешанно-слоистые минералы типа

гидрослюда-монтмориллонит с присутствием хлорита и каолинита. Вероятно, господство смешанно-слоистого минерала гидрослюдисто-монтмориллонитового типа связано с разложением и преобразованием вулканического пепла. В образцах из подошвы свиты всегда преобладает каолинит, вследствие размыва и переотложения подстилающих продуктов коры выветривания, развитой на нижнепалеозойских отложениях.

Ранее проведенные палеогеографические реконструкции для западной части Сибирской платформы показали, что формированию нижнекаменноугольных отложений предшествовал региональный перерыв осадконакопления [15]. Он совпал во времени со среднепалеозойской эпохой (D₃–C₁) тектономагматической активизации, в период которой произошло внедрение кимберлитового магматизма и сформировалась Якутская алмазоносная провинция [46]. Среднепалеозойская активизация (эпиplatformенный орогенез) на Сибирской платформе выразилась в поднятии гетерогенных блоков фундамента платформы и проявлении ультраосновного магматизма различного состава и типа, в том числе и в виде кимберлитовых трубок взрыва. По всей

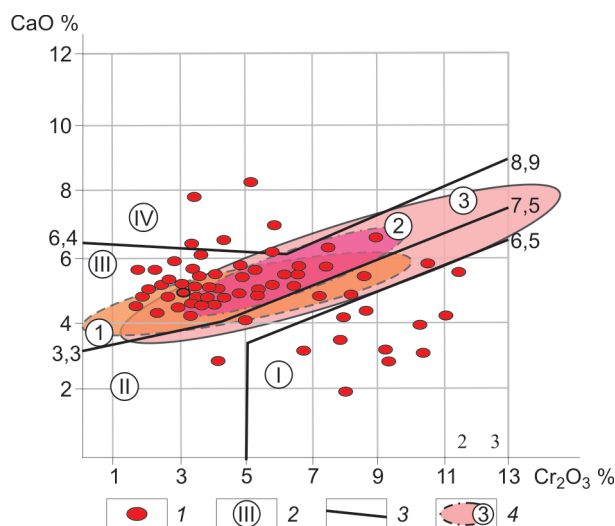


Рис. 8. Распределение пиропов из тычанского коллектора на диаграмме Н.В. Соболева [41].

1 – фигуративные точки тычанских пиропов; 2 – классификационные поля пиропов, разработанные Н.В. Соболевым: I – потенциально алмазоносного парагенезиса, II – гарцбургит-дунитового парагенезиса, III – лерцолитового парагенезиса, IV – верлитового парагенезиса; 3 – граница классификационных полей; 4 – господствующее расположение полей пиропов (приведены для сравнения): 1 – Якутская алмазоносная провинция, Верхнемунское поле, кимберлитовая трубка «Заполярная» [37]; 2 – Архангельская алмазоносная провинция, кимберлитовая трубка «Галина» [20]; 3 – Якутская алмазоносная провинция, Накынское поле, кимберлитовая трубка «Майская» [43]

Fig. 8. Distribution of pyropes from the Tychansky reservoir in the diagram by N.V. Sobolev [41].

1 – figurative points of Tychansky pyropes; 2 – classification fields of pyropes developed by N.V. Sobolev: I – potentially diamond-bearing paragenesis, II – harzburgite-dunite paragenesis, III – lherzolite paragenesis, IV – wehrlite paragenesis; 3 – boundary of classification fields; 4 – dominating location of pyrope fields (given for comparison): 1 – Yakutsk diamondiferous province, Upper Munskeye field, Zapolyarnaya kimberlite pipe [37]; 2 – Arkhangelsk diamondiferous province, kimberlite pipe “Galina” [20]; 3 – Yakutsk diamondiferous province, Nakynskoye field, Maiskaya kimberlite pipe [43]

видимости, эпицентр активизации находился в районе расположения Якутской алмазоносной провинции, со стороны которой началось поднятие осадочного чехла гетерогенными блоками кристаллических пород фундамента. Этот тектонический процесс вызвал многовековое смещение Ангаро-Тунгусского бассейна седиментации (тушамская свита) в западную часть платформы к отрогам Енисейских гор (см. рис. 2 и 10).

Постепенно регрессировавшее в меридиональном направлении эпиконтинентальное Таймырское море имело обширную прибрежную равнину с заливами. В конце серпуховского века завер-

шилось накопление мелководных прибрежно-морских осадков (тычанская свита), на смену которым пришли озерно-болотные фациальные комплексы тунгусской угленосной формации (чинокская и катская свиты).

Отмечено, что в составе тычанской свиты постоянно присутствуют хорошо окатанные «плавающие» гальки. По данным петрографических исследований, гальки состоят из кварцитовидных мелкозернистых песчаников и алевролитов, обломочная часть которых по составу и морфологии зерен идентична породам среднего ордовика. Вероятно, образование галек произошло в результате разрушения и окатывания при их транспортировке ордовикских песчаников и алевролитов. Таким образом, основные провинции питания терригенным материалом в раннекаменноугольную эпоху располагались не только на Енисейских горах, но и на поднятиях, сложенных нижнепалеозойскими породами.

Фациальный анализ базальных слоев тычанской свиты показал, что их накопление происходило в условиях прибрежных равнин и заливов. Хорошо отмытые и окатанные преимущественно светло-серые конгломераты, гравелиты и кварцевые песчаники формировались в шельфовой зоне постепенно регрессировавшего моря. На приподнятых участках низменной и холмистой равнин, ранее залитых морем, господствовали эрозивно-аккумулятивные процессы. Здесь формировались фации склонов, речных долин, озер и болот. Все фациальные особенности отложений были обусловлены ландшафтно-динамическими условиями осадконакопления.

После породного наполнения бассейнов седиментации произошла нивелировка рельефа в провинциях питания и на водосборах, что вызвало снижение гидродинамической активности поверхностных водотоков, которые на завершающем этапе формирования тычанской свиты поставляли в бассейн преимущественно глинисто-алевритовый и карбонатный (в виде суспензий и взвесей) материал. Наличие линзовидных прослоев песчаников в алевролитовых пластах, а также присутствие в них примеси и тонких прослоев гравия могут быть объяснены как периодической интенсификацией поверхностных водотоков, так и волновым отмучиванием осадков в пределах внутриводосборных отмелей. По всей видимости, осадконакопление происходило в слабо осолоненном заливе, в разных частях которого накапливались разнофациальные тер-

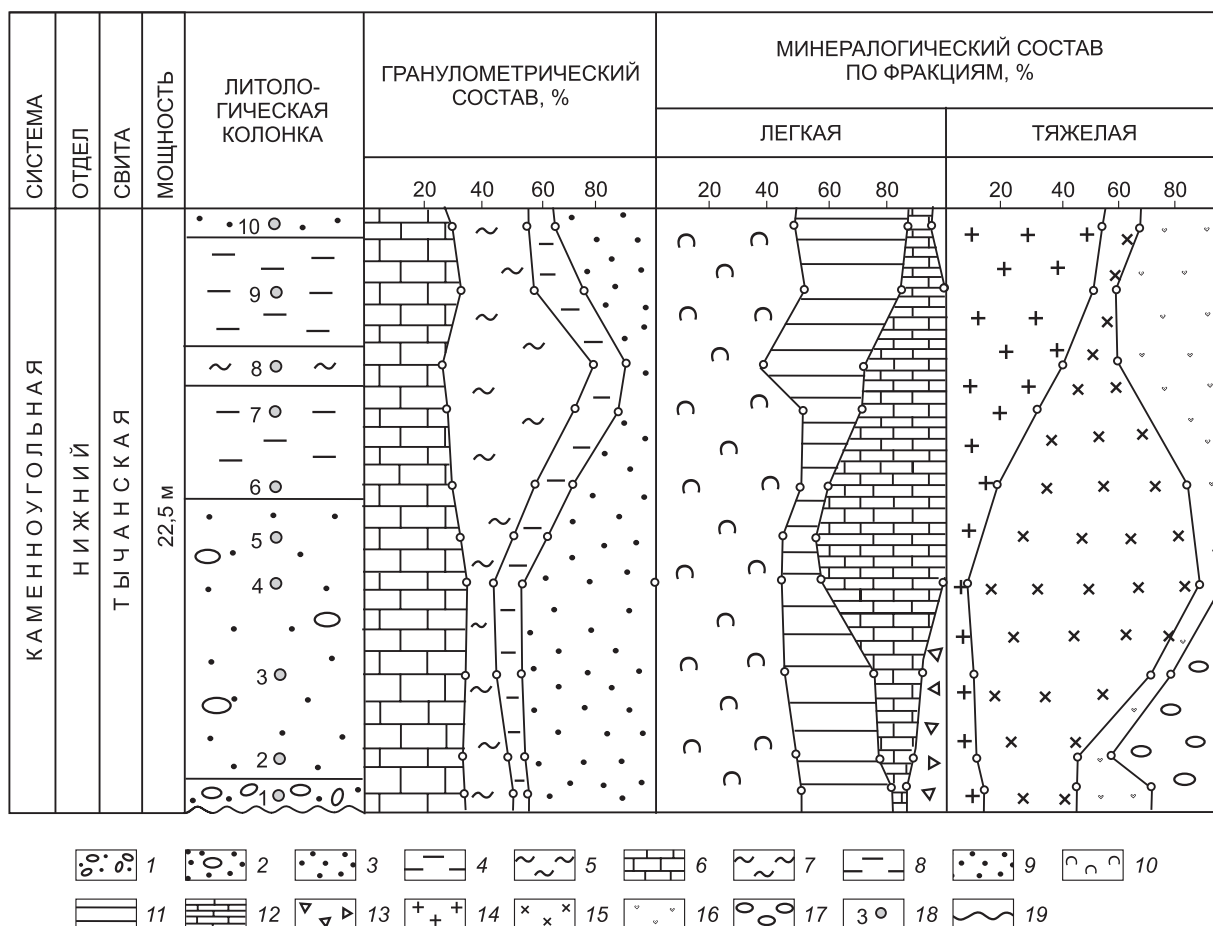


Рис. 9. Литолого-стратиграфический разрез тычанской свиты по скважине ТР-57, пройденной в древнем Тычанском заливе

1–5 – типы пород: гравийно-песчаные (1), песчаники разномеристые известковистые с включениями гравия (2), песчаники мелкозернистые (3), алевролиты известковистые (4), аргиллиты (5); 6–9 – гранулометрический состав по фракциям: карбонатная (6), глинистая (7), алевроитовая (8), песчаная (9); 10–17 – минералогический состав легкой (10–13) и тяжелой (14–17) фракций: кварц (10), полевой шпат (11), карбонаты (12), преимущественно кремнистые обломки пород (13), ильменит (14), гранат (15), циркон (16), пирит (17); 18 – место отбора пробы и ее номер; 19 – залегание исследуемых пород с размывом на верхнекембрийских известняках вельминской свиты

Fig. 9. Lithological and stratigraphic section of the Tychanskaya suite along the TR-57 well, drilled in the ancient Tychansky Bay

1–5 – types of rocks: gravel-sandy (1), inequigranular calcareous sandstones with inclusions of gravel (2), fine-grained sandstones (3), calcareous siltstones (4), mudstones (5); 6–9 – granulometric composition by fractions: carbonate (6), clayey (7), silty (8), sandy (9); 10–17 – mineralogical composition of light (10–13) and heavy (14–17) fractions: quartz (10), feldspar (11), carbonates (12), predominantly siliceous rock fragments (13), ilmenite (14), garnet (15), zircon (16), pyrite (17); 18 – place of sampling and its number; 19 – occurrence of the studied rocks with erosion on the Upper Cambrian limestones of the Velma Formation

ригенные отложения кондроминской (западная часть седиментационной области), суриндинской свит и их стратиграфических аналогов. Материалом для осадконакопления служили продукты размыва докарбоновых кор выветривания.

Выводы

Проведенные исследования показали, что основная масса нижнекаменноугольных отложений в западной части платформы сформирова-

лась в серпуховском веке. Тычанский залив представлял один из основных бассейнов седиментации, в котором происходило накопление терригенных осадков, в том числе и алмазов. Это был пресноводный, временами слабо осолонявшийся водоем с многочисленными внутриводоемными отмелями и участками островной суши.

Карбонатный материал, присутствующий в цементе терригенных пород или слагающий

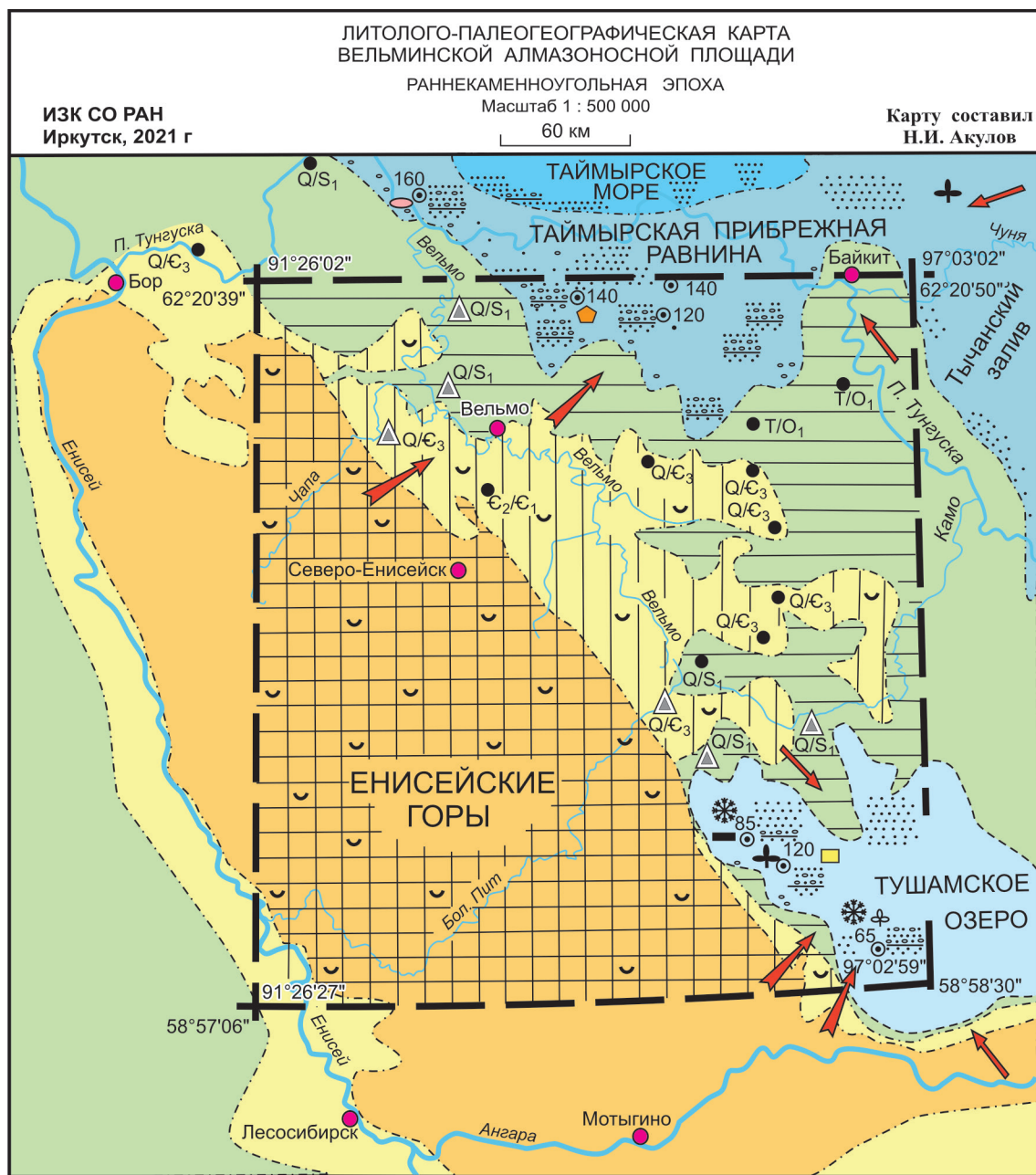


Рис. 10. Литолого-палеогеографическая карта исследуемой площади. Условные обозначения смотри на рис. 3. Карта составлена Н.И. Акуловым

Fig. 10. Lithological and paleogeographic map of the study area. See symbols in Fig. 3. The map was compiled by N.I. Akulov

основную их массу, почти всюду является кластогенным. Он образовался за счет размыва карбонатных пород нижнего палеозоя и поступал в бассейн седиментации в виде суспензий и взвесей.

Выполненная палеогеографическая реконструкция показала, что наиболее вероятным местом расположения коренных источников алмазов и спутников является Ангаро-Подк. Тунгусское междуречье (Байкитское поднятие), в

пределах которого в серпуховско-башкирское время размещалась холмистая равнина, служившая областью сноса или провинцией питания кластогенным материалом.

Анализ результатов выполненных исследований позволяет считать, что алмазоносность западной части Сибирской платформы, как и все промышленные месторождения алмазов Якутской алмазоносной провинции, целиком связана

со среднепалеозойской эпохой кимберлитового магматизма.

Список литературы / References

1. Акулов Н.И. Структурно-седиментационные зоны верхнего палеозоя в юго-западной части Тунгусского бассейна. *Геология и геофизика*. 1984;25(5): 97–101.

Akulov N.I. Upper Paleozoic structure-sedimentary zones in the South-Western part Tunguska Basin. *Russian Geology and Geophysics*. 1984;25(5):97–101. (In Russ.)

2. Акулов Н.И. Фациальный анализ верхнепалеозойских промежуточных коллекторов алмазов Ангариды. *Советская геология*. 1990;(5):48–56.

Akulov N.I. Facial analysis of the Upper Paleozoic intermediate reservoirs of the Angarida diamonds. *Sovetskaya geologiya [Soviet Geology]*. 1990. 1990;(5):48–56. (In Russ.)

3. Акулов Н.И. Погребенные верхнепалеозойские алмазоносные россыпи Ангариды. *Геология промежуточных коллекторов алмазов*. Владимирова Б.М. и др. (ред.). Иркутск; 1991:41–44.

Akulov N.I. Buried Upper Paleozoic diamond-bearing placers of Angarida. *Geology of intermediate diamond reservoirs*. Vladimirov B.M. et al (ed.). Irkutsk; 1991: 41–44. (In Russ.)

4. Акулов Н.И. Палеогеографические предпосылки поисков среднепалеозойских коренных источников алмазов на юге Сибирской платформы. *Известия вузов Сибири*. 1999;4-5:116–118.

Akulov N.I. Paleogeographic prerequisites for the search for the Middle Paleozoic primary sources of diamonds in the south of the Siberian Platform. *Izvestiya Vuzov Sibiri*. 1999;4-5:116–118. (In Russ.)

5. Акулов Н.И., Мишарина В.А., Машук И.М. О раннекаменноугольном возрасте и озерном происхождении тушамского горизонта (Сибирская платформа). *Геология и геофизика*. 2000;41(10):1443–1453.

Akulov N.I., Misharina V.A., Mashchuk I.M. Early Carboniferous age and lake genesis of the Tushama horizon (Siberian platform). *Russian Geology and Geophysics*. 2000;41(10):1443–1453. (In Russ.)

6. Акулов Н.И., Машук И.М. Стратиграфия верхнедевонских и нижнекаменноугольных отложений Приангарья. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2002;10(2):55–66.

Akulov N.I., Mashchuk I.M. Stratigraphy of Upper Devonian and Lower Carboniferous Deposits in the Angara River Region. *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2002;10(2):55–66. (In Russ.)

7. Акулов Н.И. Ангариды как среднепалеозойский материк Северного полушария. *Докл. РАН*. 2003;389(3): 341–344.

Akulov N.I. Angarida as a Middle Paleozoic continent of the Northern Hemisphere. *Dokl. RAN*. 2003; 389(3):341–344. (In Russ.)

8. Акулов Н.И. Среднепалеозойская тектономагматическая активизация на Сибирской платформе. *Литосфера*. 2003;(2):121–134.

Akulov N.I. Middle Paleozoic tectonic and magmatic activation on the Siberian Platform. *Lithosphere*. 2003; (2):121–134. (In Russ.)

9. Акулов Н.И. *Осадочные бассейны Ангариды*. Новосибирск: Академическое издательство “ГЕО”; 2010. 222 с.

Akulov N.I. *Sedimentary basins of Angarida*. Novosibirsk. Academic Publishing House “GEO”; 2010. 222 p. (In Russ.)

10. Акулов Н.И., Машук И.М. Становление Ангариды и палеогеографические условия зарождения на ее территории высших растений. *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2020;17:4–11. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.001>

Akulov N.I., Mashchuk I.M. Formation of Angaraland and paleogeographic conditions of the higher plants generation in its territory. *Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS*. 2020;17:4–11. <https://doi.org/10.31241/FNS.2020.17.001>. (In Russ.)

11. Афанасьев В.П., Лобанов С.С., Похиленко Н.П., Коптиль В.И., Митюхин С.И., Герасимчук А.В., Помазанский Б.С., Горев Н.И. Полигенез алмазов Сибирской платформы. *Геология и геофизика*. 2011; 52(3):335–353.

Afanasyev V.P., Lobanov S.S., Pokhilenko N.P., Koptil V.I., Mityukhin S.I., Gerasimchuk A.V., Pomazansky B.S., Gorev N.I. Polygenesis of diamonds of the Siberian Platform. *Russian Geology and Geophysics*. 2011;52(3):335–353. (In Russ.)

12. Бетехтина О.А., Горелова С.Г., Дрягина Л.Л., Данилов В.И., Батяева С.П., Токарева П.А. *Верхний палеозой Ангариды. Фауна и флора*. Новосибирск: Наука; 1988. 265 с.

Betekhtina O.A., Gorelova S.G., Dryagina L.L., Danilov V.I., Batyaeva S.P., Tokareva P.A. *Upper Paleozoic of Angarida. Fauna and flora*. Novosibirsk: Nauka; 1988. 265 p. (In Russ.)

13. Борисьяк А.А. *Курс исторической геологии*. 4-е издание. Л.;М.: ОНТИ. НКТП; 1934. 423 с.

Borisyak A.A. *Course of Historical Geology*. 4th edition. Leningrad; Moscow: ONTI. NKTP; 1934. 423 p. (In Russ.)

14. Ваг О.В. Региональная стратиграфическая схема нижнего карбона Сибирской платформы. *Региональная стратиграфия нефтегазоносных районов Сибирской платформы*. Сб. науч. тр. Сурков В.С. (ред.). Новосибирск: СНИИГГиМС; 1988:28–31.

Vag O.V. Regional stratigraphic scheme of the Mississippian of the Siberian Platform. *Regional stratigraphy of oil and gas bearing regions of the Siberian Platform. Proceedings*. Surkov V.S. (ed.). Novosibirsk: SNIIGGIMS; 1988:28–31. (In Russ.)

15. Ваг О.В., Матухин Р.Г. *Палеогеография Сибирской платформы в раннем карбоне*. Сурков В.С. (ред.). Новосибирск: СНИИГГиМС; 1989:33–36.

- Vaag O.V., Matukhin R.G. Paleogeography of the Siberian Platform in the Early Carboniferous. *Paleogeography of the Phanerozoic of Siberia. Proceedings*. Surkov V.S. (ed.). Novosibirsk: SNIIGiMS; 1989:33–36. (In Russ.)
16. Ваг О.В., Матухин Р.Г., Мкртычян Г.А. Этапы формирования алмазоносных коллекторов карбона в Тычанском районе. *Актуальные проблемы региональной геологии Сибири (стратиграфия, тектоника, палеогеография, минерагения)*. Новосибирск: СНИИГГиМС; 1992:138–141.
- Vaag O.V., Matukhin R.G., Mkrtychyan G.A. Stages of formation of diamond-bearing reservoirs of the Carboniferous in the Tychan region. *Actual problems of regional geology of Siberia (stratigraphy, tectonics, paleogeography, minerageny)*. Novosibirsk: SNIIGiMS; 1992: 138–141. (In Russ.)
17. Ваг О.В., Матухин Р.Г., Мкртычян Г.А. О бедошемских слоях карбона в левобережье р. Подкаменной Тунгуски. *Геология и полезные ископаемые Красноярского края и Республики Хакасия*. Вып. 3. Красноярск; 1996:91–96.
- Vaag O.V., Matukhin R.G., Mkrtychyan G.A. Bedo-Sheminian layers of the Carboniferous in the left bank of the Podkamennaya Tunguska river. *Geology and minerals of the Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia*. Issue 3. Krasnoyarsk; 1996:91–96. (In Russ.)
18. *Геологический словарь*. Т. 1. М.: Недра; 1973. 486 с.
- Geological Dictionary*. Vol. 1. Moscow: Nedra; 1973. 486 p. (In Russ.)
19. Глухов Ю.С. *Геология верхнепалеозойских отложений центральной части Тунгусской синеклизы*: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск; 1981. 23 с.
- Glukhov Yu.S. *Geology of the Upper Paleozoic deposits of the central part of the Tunguska syncline*. Abstract ... Diss.Cand.Sci., Tomsk. 1981. 23 p. (In Russ.)
20. Гунин А.П., Вержак В.В., Минченко Г.В., Сотников В.И. Геология, морфология и вещественный состав новых кимберлитовых тел Архангельской алмазоносной провинции. *Сборник публикаций по результатам III и IV ежегодных чтений им. Г.П. Кудрявцевой*. М.: Изд. Институт прикладной минералогии; 2010:50–62.
- Gunin A.P., Verzhak V.V., Minchenko G.V., Sotnikov V.I. Geology, morphology and material composition of new kimberlite bodies of the Arkhangelsk diamondiferous province. *Proceedings of the 3rd and 4th annual readings named after G.P. Kudryavtseva*. Moscow: Institute of Applied Mineralogy; 2010:50–62. (In Russ.)
21. Донов Н.Б. Фитостратиграфическое расчленение разреза чинокской свиты по р. Чуня (верхний палеозой Сибирской платформы). Палеоботанический временник. Приложение к журналу «*Lethaea rossica*». 2015;(2):220–226.
- Donova N.B. Phytostратigraphic subdivision of the Chinok Formation section along the Chunya river (Upper Paleozoic of the Siberian Platform). *Lethaea rossica. Supplement*. 2015;(2):220–226. (In Russ.)
22. Дубатов В.Н. Палеобиогеография. *Фанерозой Сибири*. Т. 1. Венд. Палеозой. Яншин А.Л. (ред.). Новосибирск: Наука; 1984:125–134.
- Dubatolov V.N. Paleobiogeography. *Phanerozoic Siberia. V. 1. Vend. Paleozoic*. In: Yanshin A.L. (ed.). Novosibirsk: Nauka; 1984:125–134. (In Russ.)
23. Дубатов В.Н., Краснов В.И. Палеоклиматы азиатской части России в девоне. *Принципы и методы корреляции полифациальных и разнофациальных отложений*. Новосибирск: СНИИГГиМС; 2002. 108 с.
- Dubatolov V.N., Krasnov V.I. Paleoclimates of the Asian part of Russia in the Devonian. *Principles and methods of correlation of polyfacial and heterofacial deposits*. Novosibirsk: SNIIGiMS; 2002. 108 p. (In Russ.)
24. Елкин Е.А., Прашкевич Г.М. *На заре жизни: Берега Ангарида: Палеозойское время в истории сибирского материка*. Новосибирск: ИНФОЛИО-пресс; 2003. 128 с.
- Elkin E.A., Prashkevich G.M. At the dawn of life: The coast of Angarida: Paleozoic time in the history of the Siberian continent. Novosibirsk: INFOLIO-press; 2003. 128 p. (In Russ.)
25. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. Типоморфные особенности алмазов как отражение их экзогенной истории. *Отечественная геология*. 2019;(4):66–74. <https://doi.org/10.24411/0869-7175-2019-10033>
- Zinchuk N.N., Koptil V.I. Typomorphic features of diamonds as a reflection of their exogenous history. *Otechestvennaya geologiya [Domestic geology]*. 2019;4:66–74. <https://doi.org/10.24411/0869-7175-2019-10033>. (In Russ.)
26. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. *Типоморфизм алмазов Сибирской платформы = Typomorphism of the Siberian platform diamonds*. М.: Недра; 2003. 603 с.
- Zinchuk N.N., Koptil V.I. *Typomorphism of diamonds of the Siberian platform*. Moscow: Nedra; 2003. 603 p. (In Russ.)
27. Иванов Д.В., Толстов А.В., Иванов В.В. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитового тела Январское (Далдыно-Алакитский алмазоносный район). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2018;(5):39–43. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-5-39-43>
- Ivanov D.V., Tolstov A.V., Ivanov V.V. Geological structure and material composition of the “Yanvarskoye” kimberlite body (Daldyno-Alakitsky diamond-bearing region). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2018;(5):39–43. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2018-5-39-43>. (In Russ.)
28. Клец А.Г. *Верхний палеозой окраинных морей Ангарида*. Новосибирск: Академическое издательство “Гео”; 2005. 240 с.
- Klets A.G. *Upper Paleozoic of the marginal seas of Angarida*. Novosibirsk: Academic Publishing House “Geo”. 2005; 240 p. (In Russ.)
29. Криштофович А.Н. *Геологический обзор стран Дальнего Востока*. Л.;М.: Георазведиздат; 1932. 332 с.

- Krishtofovich A.N. *Geological review of the Far East countries*. Leningrad; Moscow: Georazvedizdat; 1932. 332 p. (In Russ.)
30. Крюков А.В., Петерсон Л.И. Новый тип разреза основания верхнепалеозойского чехла в Тунгусской синеклизе. *ДАН СССР*. 1978;238(3):663–665.
- Kryukov A.V., Peterson L.I. A new type of section at the base of the Upper Paleozoic cover in the Tunguska syncline. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR*. 1978;238(3):663–665. (In Russ.)
31. Крюков А.В., Ваг О.В., Мкртычян А.К., Глухов Ю.С., Матухин Р.Г., Петерсон Л.П., Шульгин А.Ю. Новый пироповый карбоновый коллектор на юге Тунгусской синеклизы. *Геология и геофизика*. 1989;(4):56–64.
- Kryukov A.V., Vaag O.V., Mkrtychyan A.K., Glukhov Yu.S., Matukhin R.G., Peterson L.P., Shulgin A.Yu. New pyrope-bearing carbonaceous reservoir in the south of the Tunguska syncline. *Russian Geology and Geophysics*. 1989;(4):56–64. (In Russ.)
32. *Методические указания по составлению литолого-фациальных и палеогеографических карт*. М.: Изд-во ИГиРГИ; 1967. 25 с.
- Guidelines for compiling lithofacies and paleogeographic maps*. Moscow: Publishing House of IGI RGI; 1967. 25 p. (In Russ.)
33. Мейен С.В. О гипотезе перемещения континентов с точки зрения палеофлористики карбона и перми. *Геотектоника*. 1969;(5):3–16.
- Meyen S.V. On the hypothesis of the movement of continents from the point of view of paleofloristics of the Carboniferous and Permian. *Geotectonics*. 1969;(5):3–16. (In Russ.)
34. Мейен С.В. *Основы палеоботаники*. М.: Недра; 1987. 403 с.
- Meyen S.V. *Fundamentals of paleobotany*. Moscow: Nedra; 1987. 403 p. (In Russ.)
35. Нейбург М.Ф. О тушамской свите Тунгусского бассейна – аналоге острогской свиты Кузбасса. *ДАН СССР*. 1956;110(2):267–268.
- Neuburg M.F. On the Tushama Formation of the Tunguska Basin, an Analogue of the Ostrog Formation of Kuzbass. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR*. 1956;110(2):267–268. (In Russ.)
36. Петерсон Л.Н. *Атлас спор и пыльцы карбона Тычанского алмазоносного района*. Красноярск: Комитет природных ресурсов; 1999. 80 с.
- Peterson L.N. *Atlas of spores and pollen of the Carboniferous of the Tychan diamondiferous region*. Krasnoyarsk; 1999. 80 p. (In Russ.)
37. Писарев П.А., Гаранин В.К., Серов И.В., Гаранин К.В. Особенности состава индикаторных минералов-спутников алмаза из трубок Верхнемунского поля Якутии, оценка их алмазоносности и поля в целом. *Сборник публикаций по результатам III и IV ежегодных чтений им. Г.П. Кудрявцевой*. М.: Изд. Института прикладной минералогии; 2010:133–153.
- Pisarev P.A., Garanin V.K., Serov I.V., Garanin K.V. Features of the composition of indicator minerals-satellites of diamond from the pipes of the Verkhnemunsky field of Yakutia, assessment of their diamond content and the field as a whole. *Proceedings of the 3rd and 4th annual readings named after G.P. Kudryavtseva*. Moscow: Institute of Applied Mineralogy; 2010:133–153. (In Russ.)
38. *Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири. Средний и верхний палеозой*. Новосибирск: СНИИГГиМС; 1982. 129 с.
- Decisions of the All-Union Conference on the development of unified stratigraphic schemes for the Precambrian, Paleozoic and Quaternary systems of Central Siberia. Middle and Upper Paleozoic*. Novosibirsk; SNIIGGIMS; 1982. 129 p. (In Russ.)
39. Рейтлингер Е.А., Платонов В.А., Меннер Вл.Вл. Микропалеонтологические комплексы девона и нижнего карбона Сибирской платформы. *ДАН СССР*. 1973;210(5):1167–1170.
- Reitlinger E.A., Platonov V.A., Menner V.I. Micro-paleontological complexes of the Devonian and Mississippian of the Siberian Platform. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR*. 1973;210(5):1167–1170. (In Russ.)
40. Синицын В.М. *Древние климаты Евразии*. Л.: ЛГУ; 1970. 134 с.
- Sinityn V.M. *Ancient climates of Eurasia*. Leningrad: LSU; 1970. 134 p. (In Russ.)
41. Соболев Н.В. *Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии*. Новосибирск: Наука; 1974. 264 с.
- Sobolev N.V. *Deep inclusions in kimberlites and the problem of the composition of the upper mantle*. Novosibirsk: Nauka; 1974. 264 p. (In Russ.)
42. Соболев Н.В., Похиленко Н.П., Лаврентьев Ю.Г., Усова Л.В. Роль хрома в гранатах. *Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии. Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР, Вып. 403*. Новосибирск: Наука; 1978:145–168.
- Sobolev N.V., Pokhilenko N.P., Lavrentiev Yu.G., Usova L.V. The role of chromium in garnets. *Problems of petrology of the Earth's crust and upper mantle. Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics SB RAS USSR (403)*. Novosibirsk: Nauka; 1978:145–168. (In Russ.)
43. Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накынском поле Якутской кимберлитовой провинции. *Геология и геофизика*. 2009;50(3):227–240.
- Tolstov A.V., Minin V.A., Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Razumov A.N. New body of high-diamond-bearing kimberlites in the Nakyn field of the Yakutsk kimberlite province. *Russian Geology and Geophysics*. 2009;50(3):227–240. (In Russ.)

44. Условные обозначения и методические указания по составлению атласа литолого-палеогеографических карт СССР. М.: Госгеолтехиздат; 1962. 45 с.
- Symbols and guidelines for compiling an atlas of lithological-paleogeographic maps of the USSR.* Moscow: Gosgeoltekhizdat; 1962. 45 p. (In Russ.)
45. Akulov N.I. History of the origin of Angaraland (Siberia platform). *31st International Geological Congress (17-4. Plat Motions, Paleomagnetism, and Reconstruction of Supercontinents)*. Rio de Janeiro, Brazil, August 6–17; 2000:191–192.
46. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V. and al. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb Dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal*. 2016; 50(5):431–438.
47. Selley R.C. *Ancient sedimentary environments and their sub-surface diagnosis*. London, Routledge; 1996. 318 p.
48. Süess Ed. *Das Antlitz der Erde*. Bd. 3, Hälfte. Prag, Wien, Leipzig; 1901. 508 p.
49. Grabau A. Migration of geosynclines. *Bull. Geol. Soc.* 1924;III(3-4):207–349.
50. Mesner J.C., Wooldridge L.C.P. Maranhao Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 1964:1475–1512.
51. Sobolev N.V., Lavrent'ev Yu.G., Pokhilenko N.P., Usova L.V. Chrome-rich garnets of Yakutia and their parageneses. *Contr. Miner. Petrol.* 1973;40(1):39–52.

Об авторах

АКУЛОВ Николай Иванович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-5268-5465>, Scopus AuthorID: 10144262200, e-mail: akulov@crust.irk.ru

ГЛАДКОВ Андрей Станиславович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7744-8979>, ResearcherID: D-7285-2014, Scopus AuthorID: 7003379075, e-mail: gladkov@crust.irk.ru

ГРОМОВА Инна Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, <https://orcid.org/0009-0006-8176-6084>, Scopus AuthorID: 36193273800, e-mail: ip@crust.irk.ru

About the authors

AKULOV, Nikolai Ivanovich, Dr. Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5268-5465>, Scopus AuthorID: 10144262200, e-mail: akulov@crust.irk.ru

GLADKOV, Andrey Stanislavovich, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7744-8979>, ResearcherID: D-7285-2014, Scopus AuthorID: 7003379075, e-mail: gladkov@crust.irk.ru

GROMOVA, Inna Aleksandrovna, Cand. Sci. (Geol. and Mineral.), Researcher, <https://orcid.org/0009-0006-8176-6084>, Scopus AuthorID: 36193273800, e-mail: ip@crust.irk.ru

Поступила в редакцию / Submitted 30.12.2022

Поступила после рецензирования / Revised 22.03.2023

Принята к публикации / Accepted 17.04.2023