ЯНУЛОВ. К 100-ЛЕТИЮ ВОИНА И ЗАМЕЧАТЕЛЬНОГО КРИСТАЛЛОГРАФА

В. И. Силаев, А. М. Асхабов, А. Ф. Хазов, П. П. Юхтанов

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

silae@geo.komisc.ru

Статья посвящена научной биографии видного отечественного кристаллографа Кирилла Паскальевича Янулова (1920–2004), научным руководителем которого был выдающийся ленинградский кристаллограф Осип Маркович Аншелес (1885–1957), ученик Е. С. Фёдорова. Дан анализ важнейших научных достижений К. П. Янулова.

Ключевые слова: научная биография, К. П. Янулов, кристаллография, минералогия.

YANULOV. THE 100TH ANNIVERSARY OF THE WARRIOR AND WONDERFUL CRYSTALLOGRAPHER

V. I. Silaev, A. M. Askhabov, A. F. Khazov, P. P. Yukhtanov

Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article is devoted to the scientific biography of the prominent Russian crystallographer Yanulov Kirill Paskalievich (1920–2004), whose supervisor was the outstanding Leningrad crystallographer Osip Markovich Ansheles (1885–1957), E. S. Fedorov's disciple. We analyzed his most important scientific achievements.

Keywords: scientific biography, Yanulov, crystallography, mineralogy.

*Настоящее есть следствие прошедшего, а потому
непосредственно обращай взор свой на зады,
чем сбережешь себя от знатных ошибок.*

Козьма Прутков¹

Кирилл Паскальевич Янулов (1920–2004) родился в городе Боровичи Новгородской области. Этот городок и сейчас очень маленький (почти в 5 раз меньше Сыктывкара), а в те годы и вовсе был микроскопическим, но с богатой историей — Смутное время, Русско-шведская война 1610–1617 гг., ссылка в окрестности города в 1797–1798 гг. генерал-фельдмаршала и будущего генералиссимуса Российской империи Александра Васильевича Суворова. Таким образом, К. П. Янулов — из коренных северных русских, что всегда чувствовалось по его «нордическому» характеру. Последнее вовсе не случайность. Как сообщает современная ДНК-генеалогия, у северных русских дополнительно к общей для восточных славян гаплогруппе R1a1 в значительной концентрации примешана восточно-скандинавская гаплогруппа N1C1. Вот и получились такие славяновикинг.

Перед Великой Отечественной войной Кирилл Янулов поступил в Ленинградский государственный университет на геолого-почвенное отделение геолого-почвенно-географического факультета. Именно этот факультет впоследствии и превратился в знаменитый теперь геологический факультет ЛГУ (СПбГУ).

¹ Эпиграф к последней прижизненной статье К. П. Янулова «Решетки Браве и их классификации» (Труды Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2002. Т. 32. Вып. 110. С. 5–21).

В 1943–1944 гг. на фронте был командиром пулеметного взвода, потом командиром пулемётной роты, затем заместителем командира пехотно-огневого батальона. Орденоносец, демобилизован после тяжелого ранения в конце 1944 г.

В 1945 г. вернулся на учебу в университет, где встретил свою первую жену — Марину Константиновну, студентку со старшего курса, специализировавшуюся в минералогии. Вместе молодожены прожили недолго. Марина после окончания ЛГУ уже в 1945 г. получила направление в Сталинабад (с 1961 г. Душанбе), в Институт геологии Таджикской ССР, на должность младшего научного сотрудника (рис. 1). Ее мужу Кириллу предстояло учиться еще год. Закончив университет, он также распределился в таджикский Институт геологии, где сразу занялся организацией рентгеновской лаборатории. В то время это было очень актуальным — в геологии началась послевоенная научно-техническая революция. Правда, заниматься этим нелегким делом Кириллу Паскальевичу пришлось сравнительно недолго: его отозвали в Ленинград для поступления в очную аспирантуру.

Научным руководителем и учителем К. П. Янулова стал выдающийся ленинградский кристаллограф **Осип Маркович Аншелес** (1885–1957), который, в свою очередь, был учеником **Е. С. Фёдорова** (рис. 2). К многочисленным областям исследований О. М. Аншелеса относились кристаллооптика, иммерсионный метод, выращивание кристаллов, вычислительные и графические методы кристаллографии. В 1960-е годы он стал известен своей оригинальной гипотезой образования округлой формы у мантийных алмазов. В отличие, например, от А. А. Кухаренко и Ю. Л. Орлова, Осип Маркович

Рис. 1. Студенты-молодожены — Кирилл и Марина Януловы на фоне альма-матер — Ленинградского государственного университета (фото 1950-х годов) и первого места работы — Института геологии АН ТаджССР, теперь это Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Республики Таджикистан

Fig. 1. Just married students — Kirill and Marina Yanulov against their alma mater — Leningrad State University (1950s photo) and first place of work — Institute of Geology of the Academy of Sciences of the Tajik SSR, now it is the Institute of Geology, Antiseismic Engineering and Seismology of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan

и один из первых исследователей восточно-сибирских алмазов М. А. Гневушев считали такие формы результатом не растворения, а роста, объясняя это последовательным сокращением площади нарастающих по нормам слоев с тенденцией к постепенному выклиниванию. В 1960-е годы на эту тему шла нешуточная дискуссия, в которой победу одержали сторонники гипотезы растворения, но кое-что перепало и их противникам.

Рис. 2. Кристаллограф Осип Маркович Аншелес и некоторые его труды. Основатель кафедры кристаллографии Ленинградского университета. В блокадном Ленинграде и затем в эвакуации обеспечил совместно с В. Б. Татарским и А. А. Штернбергом выполнение оборонного заказа по выращиванию кристаллов сегнетовой соли на основе разработанного ими скоростного метода

Fig. 2. Crystallographer Osip Markovich Ansheles and some of his works. Founder of the Department of Crystallography at the Leningrad University. In the besieged Leningrad and then in the evacuation, he ensured, together with V. B. Tatarsky and A. A. Sternberg, the implementation of the defense order for growing Rochelle salt crystals based on the speed method developed by them

Темой диссертационной работы К. П. Янулова стала кристаллография эпитаксиальных сростаний минералов, о чем конкретно речь пойдет ниже. В те годы серьезные исследования на этом важнейшем для специалистов по выращиванию кристаллов направлении только начинались. В 1948 г. была защищена первая по этой теме в СССР диссертация **В. А. Франка-Каменецкого**, тоже выпускника Ленинградского университета, фронтовика и орденоносца — об эпитаксиально-ориентированных сростаниях ксеноминеральных включений в барите. Кирилл Паскальевич свою диссертацию защитил в 1951 г. [16], став одним из первых специалистов в данной области.

В 1959 г. случилось первое пришествие К. П. Янулова в наш институт, но ненадолго — через два года он вернулся в Таджикистан, где развелся с первой женой. Впоследствии Марина Константиновна долгое время работала в Казахстане, защитила в 1962 г. кандидатскую диссертацию на тему «Минералогия скарново-барито-полиметаллического месторождения Кайгарлы (Центральный Казахстан)», стала там видным минералогом-рудником. Кирилл Паскальевич тоже путешествовал, сначала в Кольский ФАН СССР, потом в Кишиневский госуниверситет. Везде создавал рентгеновские лаборатории и воспитывал профильных специалистов. В Кишиневе он даже дослужился до заведующего кафедрой кристаллографии и минералогии. Но

ненадолго, вскоре геологический факультет закрыли, и он вернулся в Таджикистан.

Весной 1970 г. Кирилл Паскальевич по приглашению и уже со второй женой — Людмилой Алексеевной Хорошиловой — опять оказался в Сыктывкаре, на этот раз с прямым заданием: создать в нашем Институте полноценную лабораторию физических методов исследований — в основном методов рентгено-структурного, рентгенофазового анализа и термографии. Вторая его жена тоже была незаурядной личностью, так уж он умел выбирать своих женщин. Люся родилась в тяжелом 1942 году в селе Владимировка Белгородской области в семье потомственных крестьян. Девочка была очень умной, в 18 лет поступила на физико-математический факультет и, как ни странно, именно Таджикского государственного университета (рис. 3). В 1965 г. получила специальность «физик»² и в 1966 г. пришла работать в Институт геологии АН Таджикской ССР, в лабораторию рентгеноструктурного и рентгенофазового анализа, т. е. практически к своему будущему мужу. В 1970 г. они поженились, переехали в Сыктывкар и с тех пор не расставались до неожиданной кончины Людмилы Алексеевны.

Задача, поставленная перед Кириллом Паскальевичем, была очень непростой — лабораторию надо было создавать практически с нуля. В Институте геологии Коми ФАН СССР тогда была только допотопная термическая установка ТУ-1М, на которой мог таинственно колдовать только Владимир Васильевич Беляев. Рентгеновское оборудование того времени было еще древнее. Но чета Януловых очень быстро включилась в работу, и уже к 1971 г. ситуация стала меняться. Сначала появилась порошковая рентгенодифракционная камера под метод Дебая–Шерера, потом появилась отечественная автоматическая термическая установка, за-

тем венгерский дериватограф и автоматический рентгеновский дифрактометр «Дрон» (рис. 4). Работа закипела. В итоге именно благодаря Кириллу Паскальевичу и Лидии Алексеевне Януловым в нашем институте научились достоверно определять минерально-фазовый состав горных пород и руд, открывать новые для севера Урала и Пайхойско-Новоземельской провинции минералы и минеральные месторождения, изобретать неслыханные ранее научные направления, например генетико-информационную минералогию и топоминералогию. И если в настоящее время в нашем институте появилось уникальное направление экспериментального изучения археологических и палеонтологических объектов как результат междисциплинарного сотрудничества со специалистами ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН, ИГГ УрО РАН, ИЭРиЖ УрО РАН, ИПОС СО РАН, ВСЕГЕИ и др., то в этом есть немалый вклад Кирилла Паскальевича, а также его замечательных сотрудников и, конечно, преемников, сохранивших и преумноживших возможности рентгеновского и термографического исследования минералов, горных пород и руд (рис. 5).

Понятно, что Кирилл Паскальевич по роду своих занятий был типичным «кабинетным ученым». Тем не менее он неоднократно выезжал на полевые работы в составе отрядов Н. П. Юшкина, и, надо признать, с немалой пользой. Фишкой кабинетного «ботаника», как выражается современная молодежь, было именно то, что Янулов очень хорошо на глаз определял минералы и как никто мог отбирать образцы для самых разных анализов. Делал он это скрупулезно, молчаливо, не вступая ни в какие трепдискуссии. А потом, уже в институте, на результатах диагностик и анализов объяснял глуповатым «экспедиционэрам», зачем именно они выезжали в поле и тратили государственные деньги.

Рис. 3. Молодой специалист-физик Людмила Алексеевна Хорошилова и ее альма-матер — государственный университет им. В. И. Ленина Таджикской ССР

Fig. 3. Young physicist Lyudmila Alekseevna Khoroshilova and her alma mater — Lenin State University of the Tajik SSR

² Удивительное было время — эпоха великой советской цивилизации, когда талантливая русская девочка из Белгородской области могла получить полноценное физико-математическое образование на самом краю империи. Нынче даже страшно подумать, каких специалистов готовят в бывшем Таджикском университете имени В. И. Ленина! Хотя, быть может, и не так все печально — таджики все-таки потомки просвещенных хорезмийцев и персов — создателей одной из первых супердержав в истории человечества.

Лично мне больше всего запомнилось его участие в полевых работах 1971 г. на Пай-Хое, когда пересеклись пути моего собственного маленького отряда с моторизованной ордой Н. П. Юшкина, за которой как раз и приглядывал К. П. Янулов (рис. 6). Упомянутые «ордынцы» тогда начали работать с Юго-Восточной Пайхойской периклинали, где вдруг выявили сульфидно-германиевую минерализацию. Потом доехали к нам на Центральную

Рентгеновский
дифрактометр «ДРОН-3»
X-ray diffractometer

Порошковый
дифрактометр
Powder diffractometer

Дериватограф
Derivatograph

Рис. 4. Кое-что из появившегося при К. П. Янулове научного оборудования

Fig. 4. Some of the scientific equipment that appeared under K. P. Yanulov

Рис. 5. Ученики, сотрудники и преемники К. П. Янулова (слева направо): В. В. Хлыбов, Л. А. Хорошилова, Г. Н. Модянова, Г. Н. Лысюк (Юшкина), Б. А. Макеев, Ю. С. Симакова
Fig. 5. K. P. Yanulov's disciples, co-workers and successors (left to right): V. V. Khlybov, L. A. Khoroshilova, G. N. Modyanova, G. N. Lysyuk (Yushkina), B. A. Makeev, J. S. Simakova

Пай-Хой, забрав у меня Виталия Петровского, но оставив взамен Петра Юхтанова, в ту пору еще студента. После этого отправились на северо-запад к Амдерминскому флюоритовому месторождению, где и открыли знаменитое теперь проявление так называемого арктического янтара. Вот таким благотворным оказалось сотрудничество будущего академика с «кабинетным ученым» Кириллом Паскальевичем Януловым.

Как ученый, Кирилл Паскальевич Янулов был преимущественно кристаллографом, но очень глубоким — не только экспериментатором, но и теоретиком классического образца. При этом его кристаллография всегда пересекалась с минералогией, чем она нам теперь и особенно интересна.

Эпитаксиальные сростания кристаллов

Как было отмечено выше, эпитаксия была темой кандидатской диссертации К. П. Янулова. Суть этого феномена состоит в том, что в определенных условиях индивиды одного и того же или разных минералов могут срастаться таким образом, что хотя бы одно из кристаллографических направлений в индивидах совпадает. В природе такие сростания встречаются довольно часто, некоторые из них известны с давних пор как особенные горные породы, например так называемые письменные граниты (гранит-пегматиты, «еврейский шпат») — агрегат эпитаксиально сросшихся полевых шпатов и кварца (рис. 7). Однако такие сростания не сразу стали восприниматься как источник конкретной генетической информации. Лишь с развитием синтеза стало понятно, что эпитаксия может позволить получать кристаллосырье с особыми свойствами, иногда неповторимое никаким иным способом. Вот тогда и возник настоящий интерес к эпитаксиальным (или эпитаксическим) сростаниям.

В 1950-х гг. выяснилось, что эпитаксические сростания позволяют реконструировать условия минера-

Рис. 6. Полевые странствия 1971–1972 гг.: а, б — Юго-Восточный Пай-Хой, Янулов учит уму-разуму легендарного Лёню Романцова — «человека и вездехода» и приглядывает за братанием студента Юхтанова с олененком; с — Северо-Западный Пай-Хой, прослеживание обнаруженной В. А. Петровским янтарной палеороссыпи в борту реки Песчаной (1 — Н. П. Юшкин, 2 — В. А. Петровский, 3 — К. П. Янулов); д — в маршруте по Вайгачу, Людмила Алексеевна Янулова делится с Никой последним бутербродом

Fig. 6. Field wanderings in 1971–1972: а, б — Southeastern Pay-Khoy, Yanulov is lecturing legendary Lenya Romantsov — an off-road man and controlling student Yukhtanov's fraternity with a fawn; с — Northwestern Pay-Khoy, tracking the amber paleoplacer discovered by V. A. Petrovsky at the flange of the Peschanaya river (1 — N. P. Yushkin, 2 — V. A. Petrovsky, 3 — K. P. Yanulov); д — on the route along Vaigach, Lyudmila Alekseevna Yanulova shares her last sandwich with Nika

Рис. 7. Примеры встречающихся в природе эпитаксиальных сростаний минералов

Fig. 7. Samples of naturally occurring epitaxial intergrowths of minerals

лообразования и в мантийных средах. Пионером в этой области стала легендарная С. И. Футергендлер [10], занимавшаяся в Ленинграде рентгеновской кристаллографией природных алмазов и разработавшая свой метод на основе экспериментов В. А. Франк-Каменецкого и К. П. Янулова. Полученные уже Футергендлер данные [11] показали, что подавляющее большинство минералов-включений находится в алмазах именно в состоя-

нии эпитаксических сростаний, что свидетельствует, во-первых, о сингенетичности минералов-узников и алмаза-хозяина, а во-вторых, о соразмерности параметров элементарных ячеек алмаза и минералов-включений в момент их кристаллизации в мантии, т. е. в НРНТ-обстановке. После эксгумации алмазов эта соразмерность нарушается из-за различий в коэффициентах термического сжатия сросшихся минералов, что неизбеж-

Сингония Syngony Тип решётки Grid type	Триклин- ная Triclinic	Моно- клинная Mono- clinic	Ромби- ческая Rhombic	Тетраго- нальная Tetra- gonal	Триго- нальная Trigonal	Гексаго- нальная Hexa- gonal	Кубичес- кая Cubic
Примитивный Primitive							
Базоцентри- рованный Base centered							
Объёмно центрирован- ный Volume centered							
Гранецентри- рованный Face centered							

Рис. 8. Решетки Огюста Браве

Fig. 8. Auguste Bravais lattices

но ведет к возникновению упругих деформаций, кото-
рые можно наблюдать, анализировать и использовать
для расчета величин первоначальных температур и дав-
лений мантийного алмазообразования [1, 2, 5–7, 18].

Молекулы Рене Гаюи, шары Уильяма Волластона, решетки Огюста Браве, параллелоиды Евграфа Фёдорова и Георгия Вороного, многогранники Бориса Делоне и сорта решёток Браве от Кирилла Янулова

Основным научным интересом К. П. Янулова всю
жизнь была теория кристаллического строения, особен-
но феномен решеток Браве. Именно этим решеткам бы-
ла посвящена последняя его научная публикация. Как
известно, теория строения кристаллов началась с идеи
их построения из плотно заполняющих пространство
многогранных «интегральных молекул» — корпускул
Рене Гаюи. Однако такая гипотеза не смогла объяснить
существование кристаллов только с октаэдрической
спайностью. Обнаружившееся противоречие преодолел
Уильям Волластон³, заменивший «молекулы» Гаюи
точками в центре шаров, которые выстраивались в ре-
шетку. Так объявился принцип решеточного строения
кристаллов, открывший путь построения математиче-
ских теорий кристаллических структур. В сущности, это
была поистине великая научная революция, и первым
ее маршалом стал **Огюст Браве**, который в середине XIX
века вычислил 14 типов ячеек, описывающих, как он
считал, любую систему точек-узоров кристаллической
структуры. Именно к такой системе стало возможным
применить принцип симметрии, что связало матема-

тическую теорию решеток с миром натуральных кри-
сталлов и сделало возможным подразделить последние
на семь классов-сингоний (в последовательности сни-
жения симметричности): кубическую, гексагональную,
тригональную, тетрагональную, ромбическую, моно-
клинную, триклинную.

После этого и наступила эпоха теорий заполне-
ния пространства выпуклыми, равными по размеру
и смежными по плоскостям многогранниками, на-
званными **Евграфом Федоровым** параллелоэдрами.
Оказалось, что таких фигур может быть только четы-
ре — куб, гексагональная призма с пинакоидом, ромбо-
декаэдр и федоровский кубооктаэдр с 36 равными ре-
брами. Выяснилось, что все остальные параллелоэдры,
описывающие реальные кристаллы, могут быть матема-
тически выведенными из этих федоровских фигур пу-
тем однородных деформаций. Вот так Е. С. Федоров и
получил все типы решеток Браве, которые он сам рас-
сматривал лишь как абстрактные геометрические мо-
дели, в чем оказался не совсем прав⁴.

В начале XX века российский математик и геометр
Георгий Вороной заменил параллелоэдры Федорова соб-
ственными «примитивными параллелоэдрами» или об-
ластями трехмерной решетки, сосредоточенными во-
круг отдельных точек-узлов. Это, как показал другой рос-
сийский кристаллограф, **Юрий Вульф**, открыло путь к
практически бесконечному сближению математических
теорий кристаллической структуры со строением реаль-
ных кристаллов, что фактически и стало предвестником
рентгеноструктурного анализа. Уже в 1930-е гг.

³ В его честь назван минерал волластонит.

⁴ Например, **И. И. Шафрановский** успешно трактовал облики
алмаза, кварца, циркона именно с позиций решеток Браве,
учитывая при этом симметрию пространственной группы
соответствующего кристаллического вещества.

еще один российский математик, **Борис Делоне**, решил проблему однозначной установки кристаллов с учетом геометрических особенностей решеток Браве, чем обеспечил рентгеновский анализ системой угловых и линейных координат, позволяющих количественно определять параметры кристаллических решеток. В итоге Б. Н. Делоне осуществил полный вывод всех возможных параллелепедов и на этой основе установил факт существования в природе только 24 сортов решеток Браве и 33 подсортов параллелепипедальных систем. Это и есть классическая база современной физической кристаллографии.

Однако для минералов такой базы оказалось недостаточно, поскольку минералы характеризуются непредсказуемо большим разнообразием реальных форм, обусловленным очень широкими вариациями условий кристаллизации. Именно поэтому работа с решетками

Браве продолжается. Вклад самого К. П. Янулова в это замечательное дело состоит в следующем. Он путем довольно непростых вычислений получил собственные таблицы 24 сортов решеток Браве, снабдив их символами Делоне (рис. 9). В этих таблицах есть весьма ценная для минералогов новация. Кирилл Паскальевич кристаллографически обоснованно поменял положения тригональной и тетрагональной сингоний, что сблизило ромбоэдрические решетки с кубическими, а тетрагональные с ромбическими. Это, между прочим, очень логично выглядит с позиций федоровских однородных деформаций. В результате януловской новации гексагональные решетки объединились с тригональными, с которыми у них много общего — одни и те же простые формы, близкая четырехкоординатная установка кристаллов, наличие в ряде ромбоэдрических пространственных групп гексагональной под-

a	Гепта ПВ / Hepta PV		Гекса ПВ / Hexa PV		Три ПВ Three PV	Тетра ПВ Tetra PV
K						
R						
H						
Q						
O						
M						
T						

b	Гепта ПВ Hepta PV		Гекса ПВ / Hexa PV		Три ПВ Three PV	Тетра ПВ Tetra PV	Вид деформации Type of deformation
K							Растяжение Tension [100][110][111]
R							
H							Растяжение / Tension [100][110] Моноклинный сдвиг Monoclinic shift [110]
Q							
O							Моноклинный сдвиг Monoclinic shift
M							Триклинный сдвиг Triclinic shift
T							

Рис. 9. Основная расширенная (а) и вспомогательная (б) таблицы 24 сортов решеток Браве от К. П. Янулова

Fig. 9. Main expanded (a) and auxiliary (b) tables of 24 varieties of Bravais lattices according to K. P. Yanulov

группы переносов. Именно поэтому ромбоэдрическую решетку можно рассматривать как дважды заселенную гексагональную, а примитивную гексагональную ячейку можно представить в виде дважды заселенной ромбоэдрической.

Лейкоксен

Первый раз появившись в институте (1959–1961 гг.), Кирилл Паскальевич занялся проблемой фазового состава так называемого лейкоксена — очень мелкозернистого, но при этом полиминерального продукта преобразования титановых минералов преимущественно в экзогенных условиях. В то время еще не было рентгеноспектральных микрозондовых технологий, поэтому единственным методом определения микрофазового состава такого рода образований был рентгеновский анализ. Но для такого сложного объекта требовался и особый специалист, такой как К. П. Янулов. Его помощницей в этом деле стала молодая минералогиня Ирина Чулкова, известная теперь как Ирина Владимировна Швецова. В результате довольно кропотливых работ, практически впервые, по крайней мере в СССР, наши герои установили, что пресловутый лейкоксен в девонских песчаниках Южного Тимана весьма широко варьируется по микрофазовому составу даже в части титановых минералов. Среди последних были надежно диагностированы рутил и анатаз (тетрагональные фазы TiO_2), брукит (ромбический TiO_2), псевдуртил $Fe_2Ti_3O_9$, реликтовый ильменит. В качестве примесей к титановым минералам в лейкоксене были выявлены кварц и оксигидроксиды железа. Исследователи пришли к выводу, что образование лейкоксена произошло за счет ильменита в результате выноса железа с образованием последовательности новообразованных минералов: ильменит → псевдуртил → рутил, анатаз, брукит. На основании рентгенографических данных было установлено, что новообразованные минералы распределяются в лейкоксенах неравномерно с образованием рутиловой, анатазовой и редкой брукитовой разновидностей [14, 17]. Впоследствии исследования тиманского лейкоксена, получив сильный импульс от К. П. Янулова, никогда не затухали ни у нас в институте, ни за его пределами, получив особое развитие в на-

правлении усовершенствования технологии обогащения, переработки и комплексного использования природного лейкоксенового сырья [3, 4, 8, 9].

Германит и другие германиевые сульфиды

Как отмечалось выше, в полевом сезоне 1971 г. на Юго-Восточном Пай-Хое при участии К. П. Янулова было открыто первое в европейском секторе Российской Субарктики проявление германита. Германиевая минерализация обнаружилась в среднем течении р. Силваяха, в альпийских кварц-карбонатных жилах, залегающих в интенсивно дислоцированных известняках и углеродисто-кремнисто-глинистых сланцах нижнего карбона. Германит здесь концентрируется в зальбанд-оторочках жил, будучи представленным кристаллографическими индивидами размером 100–500 мкм. По габитусу индивиды подразделяются на преобладающие тригонитетраэдрические и тетраэдрические (рис. 10). В ассоциации с германитом были установлены сульванит медистый с примесью германия и марганцовистый сфалерит, вюрцит.

В дальнейшем на Пай-Хое были выявлены и другие минералы группы колусита, систематические исследования которых осуществила Людмила Алексеевна Хорошилова, защитив в конце 1980-х гг. кандидатскую диссертацию [12, 13]. В настоящее время в эту группу входят пять минералов: *колусит* $Cu_{12}V(Sb,As,Sn)_3S_{16}$; *германоколусит* $Cu_{13}V(Ge,As)_3S_{16}$; *германит* $Cu_{13}Fe_2Ge_2S_{16}$; *ванадиево-мышьяковый германит* $Cu_{12-14}(As,V,Ge,Sn)_4S_{32}$; *сульванит* $Cu_{12}V(Sb,As,Sn)_3S_{16}$ и *арсеносульванит* $Cu_{12}(As,V)_4S_{16}$.

Симметрия минерального мира Земли и некоторых космических объектов

Вершиной творчества кристаллографа К. П. Янулова можно считать его активное участие в разработке законов симметрии минерального мира [15]. Понятно, что основную роль в этом проекте сыграл академик Н. П. Юшкин, но именно Кириллу Паскальевичу принадлежит конечное формулирование некоторых важнейших закономерностей кристаллосимметрии-

Рис. 10. Пайхойский германит: внешний вид (а) и габитус индивидов (б)

Fig. 10. Pay-Khoi germanite: appearance (a) and habitus of individuals (b)

ной селекции минералов на уровне пространственных групп и видов симметрии. Эта селекция выражается в резкой неравномерности, с одной стороны, распределения минералов по пространственным группам и видам симметрии, а с другой — встречаемости пространственных групп и видов симметрии в сводном континууме минералов. Так, проведенными расчетами Кирилл Паскальевич показал, что более 50 % известных нам минеральных видов относятся только к 10–12 (4–5 %) пространственным группам, а именно $P2_1/b$, $Pmna$, $P3m1$, $R3m$, $P4/nmm$, $P6_3/mmc$, $Ra3$, $Ia3$, $F43m$, $I43m$, $Fm3m$, $Fd3m$. В конкретном виде на примере сульфидов это можно показать следующим образом. В кубической сингонии по числу минеральных видов резко преобладает пространственная группа $Fm3m$, в гексагональной — $P6_3/mmc$, в тригональной — $P3m1$, в ромбической — $Pmna$, в моноклинной — $P2_1/b$. Картина распределения минералов по видам симметрии тоже очень впечатляет. Для сульфидов, например, в качестве видов-концентраторов выступают только 5 (16 %) видов: гексатетраэдрический, дигексаэдрический, дипирамидальный и призматический.

Конкретные причины такой селекции в минеральном мире пока не известны, хотя почти наверняка они в конечном счете проистекают из условий природного минералообразования. Раскрытие этой фундаментальной загадки будет означать большой скачок в знаниях кристаллосимметричных законов эволюции минерального мира. Так что у последователей Кирилла Паскальевича Янулова есть великолепный шанс!

Основные публикации К. П. Янулова

Янулов К. П. К вопросу об «изоморфном» нарастании натриевой селитры на кальцит // Записки ВМО. 1948. Вып. 77. № 1. С. 104.

Янулов К. П., Янулова М. К. О силлиманите из пегматитовых жил Енского месторождения // Записки ВМО. 1948. Ч. 77. № 4. С. 280–284.

Янулов К. П., Чулкова И. В. Ориентированные псевдоморфозы рутила по ильмениту // Доклады АН СССР. 1960. Т. 140. № 1.

Янулов К. П., Чулкова И. В. Лейкоксен девонских песчаников Южного Тимана // Материалы по геологии Северного Урала и Тимана: Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 3. Сыктывкар, 1962. С. 157–169.

Янулов К. П., Хорошилова Л. А. Применение дифрактометра ГУР-3 при морфологических исследованиях кристаллов // Записки ВМО. 1966. Ч. 95. № 6. С. 755–757.

Янулов К. П., Дыщук Ю. И., Могаровский В. В., Хорошилова Л. А., Стрелкова В. Н. Фиброферрит из района оз. Рангуль (Восточный Памир) // Записки ВМО. 1971. Ч. 100. № 3. С. 362–366.

Мальков Б. А., Малькова Н. А., Попова Т. Н., Янулов К. П. Фазовый состав титаномагнетита из мончикитов // Очерки общей и региональной минералогии. Минерал. сб. № 1. Сыктывкар, 1971. С. 52–58. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 15).

Плотников М. А., Янулов К. П. О соде в верхнепермских отложениях Западного Притиманья // Ежегодник-1971: Сборник о важнейших результатах научных исследований Института геологии. Сыктывкар, 1972. С. 92–94.

Янулов К. П., Юшкин Н. П., Хорошилова Л. А., Баширова Н. Ф. Минералогия и типоморфизм сфалерита

из рудных месторождений Пай-Хоя // Магматизм, метаморфизм и металлогения севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1972. С. 84–86.

Янулов К. П. Фактор повторяемости для кристаллов кубической сингонии в методе Дебая // Ежегодник-1971: Сборник о важнейших результатах научных исследований Института геологии. Сыктывкар, 1972. С. 195–199.

Янулов К. П. О систематике кристаллографических двумерных пространственных групп // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР: Ежегодник-1973. Сыктывкар, 1974. С. 169–173.

Янулов К. П. Прямая и обратная решетки кристалла // Ученые записки ЛГУ. 1974. № 378. Сер. геол. наук. Вып. 15. Кристаллография и кристаллохимия. Вып. 3. С. 202–205.

Юшкин Н. П., Брызгалов И. А., Янулов К. П. Минералогия и физические свойства сульванита // Минералы и парагенезисы минералов гидротермальных месторождений. Л.: Наука, 1974. С. 76–93.

Юшкин Н. П., Еремин Н. И., Янулов К. П., Хорошилова Л. А. Ванадиево-мышьяковый германит из пайхойских месторождений: первое подтверждение открытия минерала и таксономическое положение в группе германита // Зап. ВМО. 1975. 104. № 1. С. 28–40.

Янулов К. П. Подвиды решеток Браве и их классификация // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР. Ежегодник-1974. Сыктывкар, 1975. С. 129–134.

Янулов К. П., Васильев В. А., Хорошилова Л. А. Минеральный состав метеоритной пыли с Восточного Памира // Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 21. Сыктывкар, 1975. С. 51–58.

Янулов К. П., Хорошилова Л. А. О структуре сульванита // Минералогия рудных месторождений севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1976. С. 51–55.

Юшкин Н. П., Янулов К. П. Развитие, состояние и направление минералогических исследований в Институте геологии Коми филиала АН СССР // Минералогия рудных месторождений севера Урала и Пай-Хоя: Минерал. сб. № 2. Сыктывкар, 1976. С. 3–13. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 20).

Янулов К. П. Правильные системы фигур и точек на плоскости // Минералогия рудных месторождений севера Урала и Пай-Хоя. Сыктывкар, 1976. С. 14–16.

Янулов К. П. Принцип симметрии Кюри и двойникование микроклина // Проблемы генетической информации в минералогии. Сыктывкар, 1976. С. 67.

Янулов К. П. Стереографические проекции — графы видов симметрии кристаллов // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР: Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 27. Сыктывкар, 1978. С. 113–117.

Янулов К. П. Воспоминания об Осипе Марковиче Аншелесе // Вопросы генетической и структурной кристаллографии: Тр. Ленинград. об-ва естествоиспытателей. 1979. 79. № 2. С. 36–40.

Янулов К. П. Двойники прорастания кристаллов гексатетраэдрического вида симметрии // Минералог. сб. № 10. Сыктывкар, 1982. С. 47–50. Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 39.

Янулов К. П., Хорошилова Л. А. Симметрия и изоморфные замещения в минералах группы сульванита // Магматизм и металлогения Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1982. С. 86–87.

Хорошилова Л. А., Янулов К. П. Кристаллохимические особенности арсеносульванита и германита // Геология и полезные ископаемые Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар, 1983. С. 55. (Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 44).

Хорошилова Л. А., Янулов К. П. Рентгенографическая диагностика минералов групп сульванита и колусита // Минераловедение и минералогенезис: Минералог. сб. № 19. Сыктывкар, 1988. С. 70–79. (Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР. Вып. 66).

Янулов К. П. О точечной группе симметрии Th // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 1997. № 7 (31). С. 11–13.

Янулов К. П., Янулова Л. А. О связях классической симметрии и антисимметрии // Теоретическая, минералогическая и техническая кристаллография. Сыктывкар, 1998. С. 39–40.

Янулов К. П., Янулова Л. А. О связях классической симметрии и антисимметрии // Сыктывкарский минералог. сб. № 27. Сыктывкар, 1998. С. 27–30.

Янулов К. П. Решетки Браве и их классификации // Тр. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Вып. 110. Сыктывкар, 2002. С. 5–21.

Литература

1. Горина И. Ф. Минералотермометрия алмазов // Кимберлитовый вулканизм и перспективы коренной алмазоносности северо-востока Сибирской платформы. Л.: Наука, 1971. С. 114–118.
2. Зюзин Н. И. О характере ориентировки включений граната в якутских алмазах // Геология и геофизика. 1967. № 6. С. 126–128.
3. Игнатьев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана: Минералогия и проблемы технологии. СПб.: Наука, 1997. 215 с.
4. Кочетков О. С. К вопросу о минералого-геохимических особенностях лейкоксенов // Литология и полезные ископаемые. 1964. № 6.
5. Мальков Б. А. Остаточные напряжения в минералах-узниках алмаза // Доклады АН СССР. 1976. Т. 227. № 6. С. 1432–1434.
6. Мальков Б. А. Эпитаксические срастания — индикаторы термодинамических условий образования алмаза // Известия АН СССР. Сер. геологическая, 1977. № 5. С. 84–85.
7. Мальков Б. А., Асхабов А. М. Эпитаксические срастания — индикаторы термодинамических условий природного синтеза // Доклады АН СССР. 1975. Т. 221. № 4. С. 938–941.
8. Махлаев Л. В. О природе лейкоксена в Ярегском нефтетитановом месторождении (в связи с оценкой перспектив других титановых палеороссыпей) // Литосфера. 2008. № 5. С. 117–121.
9. Перовский И. А., Бурцев И. Н. Влияние механоактивации лейкоксена на эффективность процесса его переработки по фторидному методу // Перспективные минералы. 2016. № 2. С. 66–73.
10. Силаев В. И., Мартиросян О. В., Трейвус Е. Б., Сухарев А. Е. «Есть существа, которые глядят на солнце прямо, глаз не закрывая» // Российское минералогическое общество глазами современников. СПб.: ЛЕМА, 2019. С. 52–71.
11. Футергендлер С. И., Франк-Каменецкий В. А. О эпитаксической природе некоторых включений в алмазах // Рентгенография минерального сырья. 1964. № 4. С. 97–107.
12. Хорошилова Л. А. Кристаллохимия и морфология минералов группы колусита и их структурных аналогов. Свердловск, 1987. 163 с.
13. Хорошилова Л. А., Франк-Каменецкая О. В., Рождественская И. В., Франк-Каменецкий В. А. Кристаллохимическая структура арсеносульванита // Минералогическая кристаллография и свойства минералов. Сыктывкар: ИГ Коми ФАН СССР, 1984. С. 78–83.
14. Швецова И. В. Минералы лейкоксена Ярегского месторождения. Л.: Наука, 1875. 127 с.
15. Юшкин Н. П., Шафрановский И. И., Янулов К. П. Законы симметрии в минералогии. Л.: Наука, 1987. 335 с.
16. Янулов К. П. Эпитаксальные срастания кристаллов // Автореф. канд. дис. Л.: ЛГУ, 1951.
17. Янулов К. П., Чулкова И. В. Лейкоксен девонских песчаников Южного Тимана // Труды ИГ Коми ФАН СССР. 1962. Вып. 3. С. 157–169.
18. Harris J. H., Milledge H. J., Barron T. H., Munn R. W. Thermal expansion of garnets included in diamond // J. Geophys. Res., 1970. V. 75. № 29. P. 5775–5792.
1. Gorina, I. F. *Mineralotermometriiaalmazov* (Mineralothermometry of diamonds) in *Kimberlitovyy vulkanizm i perspektivy korennoi almazonosnosti Severo-Vostoka Sibirskoi platformy* (Kimberlite volcanism and prospects of radical diamondiferousness of the North-East of the Siberian Platform), Leningrad: Nauka, 1971, pp. 114–118.
2. Zyuzin, N. I. *O haraktere orientirovki vliucheniï granata v iakutskikh almazakh* (On the character of orientation of inclusions of garnet in Yakut diamonds). *Geology and Geophysics*, 1967, No. 6, pp. 126–128.
3. Ignatiev, V. D., Burtsev, I. N. *Leikoksen Timana: Mineralogiia i problemy tekhnologii* (Leucoxen Timan: Mineralogy and problems of technology). St. Petersburg: Nauka, 1997, 215 p.
4. Kochetkov, O. S. *K voprosu o mineralogo-geohimicheskikh osobennostiakh leikoksenov* (On the question of the mineralogical and geochemical features of leucoxenes). *Lithology and Minerals*, 1964, No. 6.
5. Malkov, B. A. *Ostatochnye napriazheniia v mineralakh uznikakh almaza* (Residual stresses in minerals of prisoners of diamond). *Doklady USSR AS*, 1976, V. 227, No. 6, pp. 1432–1434.
6. Malkov, B. A. *Epitaksicheskie srastaniia — indikatory termodinamicheskikh uslovii obrazovaniia almaza* (Epitactic intergrowths - indicators of the thermodynamic conditions for the formation of diamond). *Izvestiya USSR AS. Ser. Geological*, 1977, No. 5, pp. 84–85.
7. Malkov, B. A., Askhabov, A. M. *Epitaksicheskie srastaniia — indikatory termodinamicheskikh uslovii prirodnogo sinteza* (Epitactic intergrowths — indicators of the thermodynamic conditions of natural synthesis). *Doklady USSR AS*, 1975, V. 221, No. 4, pp. 938–941.
8. Makhlaev, L.V. *O prirode leikoksena v Iaregskom nefitetitanovom mestorozhdenii (v sviazi s ocenoi perspektiv drugikh titanovykh paleorossypoi)* (On the nature of leucoxene in the Yaregskoye oil and titanium deposit (in connection with the assessment of the prospects of other titanium paleo-scattering)). *Lithosphere*, 2008, No. 5, pp. 117–121.
9. Perovsky, I. A., Burtsev, I. N. *Vliianie mekhanoaktivatsii leikoksena na effektivnost protessa ego pererabotki po fluoridnomu metodu* (The effect of mechanical activation of leucoxene on the efficiency of the process of its processing by the fluoride method). *Perspektivnyye mineraly*, 2016, No. 2, pp. 66–73.
10. Silaev, V. I., Martirosyan, O. V., Treivus, Ye. B., Sukharev, A. E. . *«Est sushchestva, kotorye gliadiat na solntse priamo, glaz ne zakryvaia»* («There are creatures that look directly at the sun without

closing their eyes»). Russian Mineralogical Society through the eyes of contemporaries. St. Petersburg: LEMA, 2019, pp. 52–71.

11. Futergendler, S. I., Frank-Kamenetsky, V. A. *O epitaksialnoy prirode nekotorykh vliucheni v almazakh* (On the epitaxial nature of some inclusions in diamonds). *Rentgenografiya mineralnogo syria*, 1964, No. 4, pp. 97–107.

12. Khoroshilova, L. A. *Kristallohimia i morfologiya mineralov gruppy kolusita i ikh strukturnykh analogov* (Crystal chemistry and morphology of the minerals of the colusite group and their structural analogues). Sverdlovsk, 1987, 163 p.

13. Khoroshilova, L. A., Frank-Kamenetskaya, O. V., Rozhdestvenskaya, I. V., Frank-Kamenetskiy, V. A. *Kristallohimicheskaya struktura arsenosulvanita* (Crystal structure of arsenosulvanite) in *Mineralogicheskaya kristallografiya i svoystva mineralov* (Mineralogical crystallography and properties of minerals). Syktyvkar: Institute of geology, Komi Branch of USSR AS, 1984, pp. 78–83.

14. Shvetsova, I. V. *Mineraly leikoksena Iaregskogo mestorozhdeniya* (Minerals of leucoxene of the Yaregskoye field). Leningrad: Nauka, 1975, 127 p.

15. Yushkin, N. P., Shafranovsky, I. I., Yanulov, K. P. *Zakony simmetrii v mineralogii* (Laws of symmetry in mineralogy). Leningrad: Nauka, 1987, 335 p.

16. Yanulov, K. P. *Epitaksialnye srastaniya kristallov* (Epitaxial intergrowths of crystals). *Extended abstract of Cand. Sc. Dissertation*, Leningrad State University, 1951.

17. Yanulov, K. P. Chulkova, I. V. *Leikoksen devonskikh peschanikov Iuzhnogo Timana* (Leucoxene of the Devonian sandstones of South Timan). Proceedings of Institute of geology Komi branch USSR AS, 1962, V. 3, pp. 157–169.

18. Harris, J. H., Milledge, H. J., Barron, T. H., Munn, R. W. Thermal expansion of garnets included in diamond, *J. Geophys. Res.*, 1970, vol. 75, no. 29, pp. 5775–5792.

Поступила в редакцию / Received 28.03.2020