

## АННОТАЦИЯ

цикла научных трудов «Тектоника Арктики и смежных регионов Сибири и северо-востока Азии», выдвигаемых на соискание премии СПбГУ «За научные труды» в категории «за фундаментальные достижения в науке»

Несмотря на активные исследования Арктики и смежных регионов Сибири и северо-востока Азии, они по-прежнему относятся к числу сравнительно слабо изученных территорий. Объективной причиной для этого является их труднодоступность, обусловленная как слабо развитой инфраструктурой, так и коротким периодом времени, доступным для проведения полевых работ. В то же время, эти регионы содержат огромные запасы полезных ископаемых, а корректная расшифровка истории их геологического развития даст ключ к пониманию эволюции наиболее верхних оболочек Земли как планеты. Здесь ключевую роль играет тектоника – наука о движениях Земной коры, вызывающих их причинах и следствиях.

Хотя исследования окраин и внутренних частей Сибири один из соавторов (А.К.Худолей) начал еще в конце 1970-ых годов, наиболее интенсивно работы стали проводиться с 2009 года, когда сформировался коллектив соавторов. За это время были проведены полевые работы на Земле Франца-Иосифа, архипелагах Новая Земля, Северная Земля, Новосибирские острова, острова Де-Лонга, полуострове Таймыр, восточной и западной окраине Сибири, в Приколымье, был изучен керн скважин из различных частей Сибири и арктического побережья. При обработке собранных образцов использовались самые современные технологии геохимических и изотопно-геохронологических исследований, которые проводились в тесной кооперации с ведущими исследовательскими группами как России, так и зарубежных стран – Норвегии, Швеции, Дании, Германии, Австралии, Канады и США. Комплексный подход к исследованиям и широкая кооперация позволили получить результаты, ставшие основными научными достижениями соавторов коллектива исследователей – А.К.Худолея и В.Б.Ершовой. Наиболее важные результаты приведены ниже.

Территория Арктики состоит из крупных блоков различного строения, которые в ходе геологической истории претерпевали значительные перемещения. Но каким образом происходили эти перемещения, какие блоки взаимодействовали в прошлом а какие были разобщены является предметом дискуссий. Нами были произведены детальные исследования обломочных пород, распространенных на островах Северного Ледовитого океана и изучены возраста цирконов – минерала, встречающегося в гранитах и близких им по составу интрузивных породах и, благодаря своей устойчивости, сохраняющегося при транспортировке водой или ветром. Датировки цирконов, произведенные U-Pb методом, показали, что для верхнепалеозойских песчаников на всех островах графики распределения возрастов имеют сходную форму, одной из особенностей которых оказалось крайне незначительное распространение цирконов с возрастными более 2000 млн лет. Эти возраста – древнее 2000 млн лет, являются наиболее характерными для

фундамента Сибирской платформы, и их отсутствие однозначно указывает, что территория Сибири не могла быть поставщиком обломочного материала, накапливавшегося в позднем палеозое на островах Северного Ледовитого океана, даже на таких близкорасположенных, как острова архипелага Северная Земля.

В то же время, основная масса цирконов имеет возраста около 300 млн лет и 500-550 млн лет. Это время, когда основные тектонические события происходили на Урале (около 300 млн лет) и к западу от него на Тимане и соседних регионах (500-550 млн лет). Следовательно, перенос обломочного материала происходил с севера Урала и соседних к западу регионов далеко на восток, вплоть до Новосибирских островов и острова Врангеля. Но между этими регионами – источником обломочного материала и областью его накопления в настоящее время существует существовало много преград, не допускающих переноса водными потоками. По этой причине единственная реалистичная интерпретация – в конце палеозоя все блоки, слагающие современные острова Северного Ледовитого океана, находились далеко западнее, в непосредственной близости от Урала и были перемещены в нынешнее расположение позднее, в ходе тектонических процессов мезозойского времени.

Аналогичная проблема возникает и с Верхояньем – областью накопления огромного объема верхнепалеозойских обломочных пород мощностью не менее 5-7 км. Для их формирования должны были размываться горы, сопоставимые с современными Гималаями. Как и в предыдущем примере, оказалось, что по всему разрезу наиболее широко развиты цирконы с возрастными 340-280 млн лет. Граниты такого возраста наиболее широко распространены в структурах Алтая и Саян, а также под осадочным чехлом Западной Сибири. Более детальное изучение осадочных комплексов позволило реконструировать крупную речную систему «Палео-Хатангу», сопоставимую по размеру с современными Леной и Енисеем и переносившую обломочный материал через северную окраину Сибирской платформы на север Верхоянья.

Изучение соотношений между складками, разломами и другими тектоническими структурами, произведенное вместе с датированием минералов по изотопным системам, чувствительным к процессам, происходящим при низких температурах (<240°C) позволяет определить последовательность и возраст тектонических процессов. Эти методы датирования, получившие название низкотемпературной термохронологии, включают трековый анализ и U-Th/He метод, становятся все более и более популярными в последнее десятилетие. Нами было показано, что возраст деформаций, сформировавших современную тектоническую структуру Таймыра, составляет примерно 200 млн лет (поздний триас), хотя ранее значение этого этапа деформаций большинством исследователей недооценивалось. Было также установлено, что деформации на восточной и северной окраинах Сибири, в пределах Верхоянского складчато-надвигового пояса и Оленекской зоны складок, продолжались вплоть до границы мезозоя и кайнозоя и возможно, захватывали и начало кайнозоя, что фиксирует значительно более длительную историю деформаций региона, чем это считалось ранее. Именно эти тектонические

движения завершили длительный этап формирования структур, связанных с обстановкой сжатия, которая в дальнейшем сменилась обстановками сдвига и растяжения, результатом чего стала современная структура Арктики и соседних регионов.

## ANNOTATION

of a set of scientific papers «Tectonics of the Arctic and adjacent areas of Siberia and northeast Asia»

Despite the active study of the Arctic and adjacent areas of Siberia and northeast Asia, they are still relatively poorly investigated areas. The objective reason for this is their inaccessibility due to both poorly developed infrastructure and a short period of time available for field work. However, these regions contain huge minerals deposits, and a correct deciphering of their geological history will provide a key for understanding the evolution of the uppermost shells of the Earth as a planet. The tectonics plays a key role – the science of the movements of the Earth's crust, their causes and effects.

Although one of the co-authors (A.K. Khudoley) began researching both margins and interior parts of Siberia in the late 1970s, the most intensive work began in 2009, when a team of co-authors was formed. During this time, field work was carried out on Franz Josef Land, the Novaya Zemlya archipelago, Severnaya Zemlya, the New Siberian Islands, the De Long Islands, the Taimyr Peninsula, the eastern and western margins of Siberia, in the Kolyma region, additionally numerous core samples from various parts of Siberia and the Arctic coast have been studied. During processing of the collected samples, the most modern technologies of geochemical and isotope-geochronological studies were used, which were carried out in close cooperation with leading research groups both in Russia and foreign countries – Norway, Sweden, Denmark, Germany, Australia, Canada, and USA. An integrated approach and broad cooperation made it possible to obtain results that have become the main scientific achievements of the co-authors of the research team – A.K. Khudoley and V.B. Ershova. The most important results are summarized below.

The Arctic consists of large crustal blocks with variables structures, which have undergone significant movements during their geological history. But how these movements took place, which blocks interacted in the past and which were disunited is the subject of discussion. We carried out detailed studies of clastic rocks crop out across the islands of the Arctic Ocean with main analytical studies related to determination of age of zircons – a mineral found in granites and intrusive rocks similar in composition and, due to it stability, preserved during transportation by water or wind. The U-Pb dating of zircons from the Upper Paleozoic sandstones on all islands showed similar distribution of detrital zircons, one of the features was the extremely insignificant amount of zircons with ages of more than 2000 Ma. These ages, older than 2000 Ma, are the most typical for the Siberian Platform basement, and their absence clearly indicates that the Siberia could not be a supplier of clastic material accumulated in the Late

Paleozoic on the islands of the Arctic Ocean, even on nowadays closely located the Severnaya Zemlya Archipelago.

At the same time, the majority of zircons are about 300 Ma and 500-550 Ma in age. Their ages perfectly match to the main tectonic events reported from the Urals (about 300 million years) and to the west of it on Timan and neighboring regions (500-550 Ma). Consequently, the transportation of clastic material occurred from the northern Urals and neighboring regions far to the east, up to the New Siberian Islands and Wrangel Island. However, nowadays these locate far from each other with many obstacles that do not allow transport by water flows. For this reason, the only realistic interpretation is that at the end of the Paleozoic, all the blocks that make up the modern islands of the Arctic Ocean were located far to the west, in the immediate vicinity of the Urals, and were moved to their present location later, due to diverse tectonic processes in Mesozoic.

A similar problem arises with Verkhoyansk region – an area of accumulation of a huge volume of Upper Paleozoic clastic rocks with a thickness of at least 5-7 km. For their accumulation, mountains, comparable to the modern Himalayas, had to be eroded. As in the previous example, it turned out that zircons with ages of 340-280 Ma are most widely developed throughout the succession. Granites of this age are most widespread in the Altai and Sayan structures, as well as under the sedimentary cover of Western Siberia basin. A more detailed study of sedimentary complexes made it possible to reconstruct the large river system «Paleo-Khatanga», comparable in size to the modern Lena and Yenisei and carrying clastic material across the northern margin of the Siberian Platform to the north of Verkhoyansk region.

Study of relationships between folds, faults and other tectonic structures, done along with dating of minerals by isotopic systems, sensitive to low-temperature (<240°C) processes, allows to identify sequence and age of tectonic processes. These methods of dating, commonly known as «low-temperature thermochronology» including fission track and U-Th/He methods are getting more and more popular during the last decade. We showed that that the age of deformations, which formed modern structural style of the Taimyr, was approximately 200 million years (Late Triassic), although previously most researchers underestimated importance of this deformational event. It was also established that deformations on the eastern and northern margins of Siberia, within the Verkhoyansk fold-and-thrust belt and the Olenek fold zone, continued up to Mesozoic and Cenozoic boundary and, probably, at the beginning of Cenozoic, pointing to much longer deformation history of these regions than it was supposed previously. These tectonic movements were exactly that completed long stage of the compressional structures formation, and which were replaced by strike-slip and extension environments which resulted in formation of the modern structure of the Arctic and adjacent areas.

