

Сведения о выполненных работах в 2020 году  
по проекту «Магматизм Азии в период с 500-400 млн. лет назад и  
его связь с климатическими кризисами, включая массовое вымирание  
биологических видов в конце Ордовикского периода»,  
поддержанному Российским научным фондом  
Соглашение № 18-17-00240

Руководитель Эрнст Ричард Эверетт, канд. филос. наук

Одним из важных результатов выступили новые данные по геохронологии магматических комплексов Центральной Азии, в частности по Восточной Сибири (Khydoley et al., 2020), Кузнецкому Алатау, Западной Туве и Северной Монголии (Vrublevskii et al., 2020; Gertner et al., 2019). Эти данные во многом определяют эволюцию Северо-Азиатского суперплюма и связанных с ним процессов изменения органического мира. Другим важным аспектом выступают данные по исследованию стабильных изотопов кислорода и углерода, которые были определены в карбонатных осадках Верхоянья (Восточная Сибирь). Эти данные представлены в печать (El Bilali et al., 2020 in press). Отдельным аспектом исследования вероятных климатических изменений выступило изучение изотопов ртути (Grasby et al., 2020). В данном случае были изучены примеры вероятного взаимодействия мантийных плюмов и падения астероидов. Их результаты касаются границы мезозоя, но, тем не менее, отражают вероятные изменения климата, которые привели к массовому вымиранию органических видов.

Средневзвешенный U-Pb возраст по 4 определениям Суордахских интрузий - (450±24, 457±34 и 444±22 млн лет (Худолей и др., 2001; Chamberlain et al., 2010; Khudoley et al., 2013)) и новому (458±13 млн лет (Khudoley et al., 2020)) составляет 454±10 млн лет, что соответствует окончанию среднего и позднему ордовику. Наличие близких по возрасту интрузий гранитов и островодужных вулканитов (Кузьмин и др., 2003; Сычев и др., 2020) можно поставить под сомнение такую интерпретацию в обстановке формирования островодужных систем. Тем не менее, весь имеющийся набор геохимических данных – отсутствие Ta-Nb и Ti аномалий и близость к OIB свидетельствует в пользу внутриплитного происхождения, то есть сходство с LIP, но не с островодужными магматическими системами.

Ранее предполагалась, что интрузии Суордахского события распространены только в центральной части Сетте-Дабана, рассекая отложения мезопротерозоя и венда, новая датировка свидетельствует, что силлы этого возраста могут располагаться и в кембрийских породах. Предполагавшийся ранее геохимический критерий ( $TiO_2 > 3.5\%$  и  $P (P_2O_5) > 0.3\%$ ) (Khudoley et al., 2013) также оказывается не вполне корректным, т.к. у новой интрузии содержания титана и фосфора заметно меньше ( $TiO_2 = 2.37\%$  и  $P_2O_5 = 0.23\%$ ) и перекрываются с таковыми у многих интрузий, ранее считавшихся позднедевонскими. Этот результат существенно увеличивает потенциальное внедрение позднеордовикских интрузий, и возможную область их распространения, включая область развития кембрийских пород и силлов. Общая площадь распространения интрузий Суордахского комплекса, с учетом новых данных, оценивается в 35000-40000 км<sup>2</sup>. В восточной части Сетте-Дабана значительная часть области распространения кембрийских пород перекрыта более

молодыми комплексами и это еще более увеличивает потенциальную область распространения интрузий Суордахского комплекса, делая ее сопоставимой с площадью типичных LIP. Хотя каждое из них в отдельности по площади распространения и объему магматических пород не достигает значений типичного LIP, но взятые все вместе они фиксируют магматическое событие, имеющее общемировое распространение. По времени оно, в пределах ошибки, перекрывается с позднеордовикским оледенением, произошедшим в хирнатском веке и массовым вымиранием, произошедшим на рубеже катийского и хирнантского веков ( $445.2 \pm 1.4$  млн лет) и, на рубеже силура и ордовика ( $443.8 \pm 1.5$  млн лет) (Gradstein et al., 2020). Полученные данные позволяют предполагать, что именно Суордахское событие было причиной изменения климата и связанное с ним массовое вымирание органических видов.

В результате новых данных изотопно-геохронологических исследований (Sm–Nd, Rb–Sr, U–Pb, Ar–Ar) в Кузнецко-Алатауском ареале проявления субщелочного и щелочного магматизма на примере Университетского массива была установлена полихронность магматических событий в центральном секторе Северного склона Кузнецкого Алатау (Mustafayev et al., 2019, 2020). Ранее считалось, что разный возраст магматизма отражает полихронность его проявления в разных частях этого региона. В частности, западный сектор соответствовал наиболее раннему его проявлению на границе кембрия-ордовика, центральный, включая Кия-Шалтырский интрузив, – соответствовал раннему девону, а его восточный сектор – отражал проявление позднепермского возраста (Гертнер и др., 2013). Разнообразие пород повышенной щелочности Университетского плутона ранее представляли собой единую щелочно-габброидную серию ранне-среднедевонского времени становления (Есин и др., 1987; Осипов и др., 1989), сопоставимую с соседним Кия-Шалтырским плутоном. Полученные новые изотопно-геохронологические (Sm–Nd, Rb–Sr) данные по умеренно-щелочным габброидам (меланократового и лейкократового габбро) этого объекта, регистрируют формирование массива в раннем палеозое (на уровне 490–470 млн лет) с образованием интрузий дайкового типа щелочного состава (плагноклазовый ийолит, анальцимовый сиенит) в средне-палеозойскую эпоху (на уровне 400 млн лет). Результаты геохимических исследований демонстрируют сложную геодинамическую обстановку внедрения расплавов с конвергентными признаками островодужного или окраинно-континентального и внутриплитного магматизма.

Важным результатом проведенных в 2020 году анализов являются данные по изучению стабильных изотопов углерода и кислорода в осадочных толщах Восточной Сибири (Верхоянский район и Сетте – Дабан). Для этих регионов реконструированы условия изменения осадконакопления в связи с вероятным влиянием крупных изверженных провинций. Основными критериями выступают изменение солёности воды и вероятной её температуры. С учетом крупных извержений вулканов в период формирования Сибирского плюма возможно серьезное повышение содержания ртути в морских и океанических осадках, которые могли привести к массовому вымиранию органических видов. Пульсационные извержения Сибирских траппов вызывали значительную токсическую нагрузку на глобальную окружающую среду.

Повышенные концентрации ртути позволяют объяснить совокупное исчезновение как морской, наземной биоты, так и насекомых.

Одним из важных элементов анализа вероятных причин вымирания органического мира в конце ордовика и в начале силура выступают исследования стабильных изотопов углерода и кислорода, которые отражают изменения состояния осадконакопления в морских и океанических бассейнах.

Учитывая общую динамику изменения изотопного состава в осадках баранской, таяхской и ононской свит можно зафиксировать, что между, относительно, слабо изменчивых ордовикского и силурийского фрагментов разреза фиксируется зона интенсивных вариаций  $\delta^{13}\text{C}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ . Допуская, что формирование изученного разреза шло на фоне снижения температур осадконакопления можно предполагать, что вариативность изотопного состава углерода и кислорода в пограничной зоне обусловлена либо резким повышением солености бассейна, либо окислением атмосферы. Проявление механизмов увеличения минерализации морской воды на фоне ее остывания маловероятно и может быть обусловлено дополнительным приносом континентальных осадков. Хотя, полное исключение наложенного осолонения морского бассейна требует дополнительных доказательств на основе распределения микрохимических индикаторов, нам представляется более вероятным механизм окисления атмосферы. В качестве причины данного окисления могут выступать глубинные газовые эманации и парниковый эффект, связанный с интенсивным проявлением магматизма. Это может являться косвенным подтверждением проявления крупной изверженной провинции на границе ордовика и силура. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  (от 0 до +0,6 ‰). Переходная ордовик-силурийская зона Таяхской свиты отличается максимальной изменчивостью изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  – от -2,5 до +0,8 ‰) с положительными значениями  $\delta^{13}\text{C}$  в нижних – ордовикских карбонатах и отрицательных  $\delta^{13}\text{C}$  в верхних – силурийских отложениях. Для осадков ононской свиты фиксируются относительно устойчивые отрицательные вариации  $\delta^{13}\text{C}$  (от -2,2 до -0,5‰).

Взаимные вариации  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  в карбонатах ордовик-силурийского разреза позволяют выделить три основных вертикальных кластера, различающихся друг от друга характером распределения изотопного состава кислорода и углерода. Они определяют вариации температуры и солености морских и океанических бассейнов, которые позволяют говорить о различных трендах изменения этих параметров на разных эпохах эволюции термодинамических и химических параметров крупных водных бассейнов в ордовике и силуре.

В целом, корреляция магматических событий в ордовике и в силуре позволяют говорить о значительном влиянии крупных изверженных провинций на изменение органического мира в этот промежуток времени. Влияние вероятных эманаций газовой фазы привело к массовому вымиранию многих видов морской фауны в данном периоде, что зафиксировано в стратиграфической шкале. Дальнейшие исследования позволят уточнить границы конкретных магматических и биологических циклов.