

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕННОСТИ БИОХИМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДКАХ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Галимов Э.М.¹, Левитан М.А., Севастьянов В.С., Новиков А.П.

¹*Руководитель проекта*

² *Ордена Ленина и ордена Октябрьской революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН), Москва, Россия*

galimov@geokhi.ru

1. Закономерности осадконакопления в Северном Ледовитом океане в различные эпохи.

Работа по подпроекту велась по трем направлениям: 1) реконструкции истории мезозойско-кайнозойской седиментации в Циркумарктическом поясе на количественной основе в качестве предшественницы четвертичного осадконакопления в Арктической зоне; 2) исследованию четвертичной седиментации в Северном Ледовитом океане; 3) анализу голоценового осадконакопления в Карском море.

Получены результаты по фациальной структуре и количественным параметрам триасово-юрской седиментации в Циркумарктическом поясе – субширотной полосе Арктической зоны, ограниченной с юга 60° с.ш., а с севера – бровкой современного континентального шельфа Северного Ледовитого океана. Для каждого из отделов триаса и юры построены литолого-фациальные карты (с изопакитами), на которых отражены: зона размыва, зона континентального осадконакопления, зона мелководно-морского (менее 200 м) осадконакопления, зона глубоководно-морского осадконакопления, а также основные типы осадков и эффузивных пород. В соответствии с объемным методом А.Б. Ронова все карты были обчислены с получением данных по площадям, занятым той или иной зоной и типом осадков, а также их объемом. Далее данные об объеме переводились в массы сухого вещества и, наконец, в интенсивности седиментации. При этом использовалась геологическая шкала из работы Ф. Градштейна с соавторами [1]. Полученные количественные параметры сравнивались с такими же параметрами для всех континентов [2], пересчитанными нами по той же шкале Ф. Градштейна с соавторами. Результаты проделанной работы сопровождаются обзорами тектонической и палеогеографической эволюции региона в это же время. Сделаны выводы о том, что в значительной степени триасово-юрская история седиментации в Циркумарктическом поясе определялась глобальными закономерностями. При этом ряд особенностей, например, ураганные значения интенсивностей седиментации и вулканизма в раннем триасе, скорее, были связаны с Сибирским суперплюмом.

К данному направлению частично относится и наша работа, посвященная истории кайнозойского оледенения Антарктиды и осадконакопления в Южном океане. В ее заключительной части проводится сравнительный анализ климатической и седиментационной истории высоких широт Северного и Южного полушарий, с выводом о высокой степени сходства обоих регионов.

Получены данные о роли диагенетического и седиментационного факторов в формировании цвета четвертичных осадков района южной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан). С помощью таких независимых параметров, как расчетное содержание кварца (индикатор терригенного привноса, зависящий от ледниково-межледниковых климатических циклов) и содержание мышьяка (накапливающегося в диагенетических сульфидах) прослежены изменения в цвете, отношении Mn/Fe, концентрациях Cu и Ni в зависимости от диагенетического и седиментационного сигналов. Особое внимание уделено роли абсолютных масс лабильного (реакционноспособного) органического вещества.

Закончено и сдано в печать исследование по средней скорости седиментации за последние 130 тыс. лет, охватывающих последние пять морских изотопных стадий (МИС). Показано,

что этот важный фациальный индикатор зависел от циркумконтинентальной зональности и асимметрии в распределении потоков терригенного вещества, структуры течений в водной толще, ледового режима, рельефа дна, фациальной зональности.

Кроме того, в печать сданы результаты наших исследований так называемой тонкой структуры как Полярной толщи [3] в приполярном сегменте подводного хребта Ломоносова, так и отложений МИС 6 на континентальном склоне Карского моря, впервые описанных в статье [4]. В первом случае применение методов математической статистики к результатам рентгенофлуоресцентного анализа (подтвержденными гранулометрическим анализом) позволило выделить эпизоды, связанные с оледенениями, межледниковьями и интерстадиалами. Во втором регионе на основе гранулометрического анализа выявлено колебание кромки ледникового щита во время МИС 6, проявленное переслаиванием дебритов (отложений debris-flow из ледовых потоков) и айсбергитов.

Начато исследование на новом уровне истории голоценовой трансгрессии на шельфе Карского моря, с которой связана деградация кровли многолетнемерзлых пород и частичное разрушение газогидратных залежей. Все это вносило свой вклад как в потепление климата, так и в формирование современного газового поля углеводородов в морской воде и осадках Карского моря. С целью более подробного анализа истории голоценовой трансгрессии начат отбор раковин моллюсков из собственной коллекции донных осадков. Впоследствии эти пробы будут проанализированы методом AMS ^{14}C с целью получения возрастных датировок. При этом проводится литологическое описание колонок, в том числе и под микроскопом, и отбор проб на геохимические анализы методами XRF и ICP-MS для продолжения работы по данному проекту в 2015 г.

2. Радиоэкологические исследования шельфовых морей Российской Арктики.

Основными источниками поступления искусственных радионуклидов в российские арктические моря являются ядерные испытания на архипелаге Новая Земля, дампинг твердых и жидких радиоактивных отходов в Карском и Баренцевом морях, деятельность Северного военно-морского флота и обслуживающих предприятий, деятельность российских и европейских предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а также импульсные выбросы радионуклидов вследствие аварий на АЭС (такие, как Чернобыльская АЭС). Поскольку Арктический бассейн является активным звеном глобального круговорота вещества и формирования климата Земли, его ресурсы и экологическое состояние оказывают прямое влияние на экономику и условия жизни на огромной территории РФ, примыкающей к Арктическому бассейну. Поэтому радиоэкологический мониторинг Арктики имеет первостепенное значение. Кроме того, радиохимический анализ донных отложений позволяет проводить их геохронологическое исследование для построения прогностических моделей развития ситуации с радиоактивным загрязнением акваторий в будущем.

Целый ряд методов исследования гидросферы основан на нарушении векового равновесия в естественных радиоактивных рядах, особенно в наиболее распространенном из них – ряде урана-238. Самые популярные из этих методов применяются для исследования процессов вертикальной миграции вещества, в частности измерения потоков взвеси в водной толще (метод ^{234}Th) и скорости накопления осадочного материала (методы ^{210}Pb и ^{230}Th).

Существует две основные модели расчета возраста по ^{210}Pb – модель постоянной активности и модель постоянного потока. В первой модели предполагается постоянство скорости осадконакопления и начальной удельной активности ^{210}Pb в отлагающемся материале. Зависимость активности избыточного ^{210}Pb (A) от глубины z аппроксимируют экспоненциальной функцией и рассчитывают скорость осадконакопления Γ по закону радиоактивного распада.

Во второй модели единственным условием является постоянство потока ^{210}Pb через границу раздела вода – осадок. При этом и скорость седиментации, и удельная активность осадка могут меняться. Для расчета возраста слоя (t) используют запас избыточного ^{210}Pb

в толще осадка I_{∞} и в слое выше датированного горизонта $I(z)$. Очевидно, в случае постоянства скорости седиментации обе модели дают тождественный результат. В ходе реализации проекта для изучения режима седиментации двух озер Кольского полуострова была применена модель постоянной активности ^{210}Pb .

Целый ряд методов исследования гидросферы основан на нарушении векового равновесия в естественных радиоактивных рядах, особенно в наиболее распространенном из них – ряде урана-328. Самые популярные из этих методов применяются для исследования процессов вертикальной миграции вещества, в частности измерения потоков взвеси в водной толще (метод ^{234}Th) и скорости накопления осадочного материала (методы ^{210}Pb и ^{230}Th).

Свинец-210 ($T_{1/2}=22.3$ лет) – член ряда ^{238}U . Одним из предшественников ^{210}Pb является ^{222}Rn ($T_{1/2}=3.82$ сут.) – радиоактивный благородный газ. Радон постоянно поступает в тропосферу по порам и трещинам почв и горных пород, затем через цепочку короткоживущих продуктов распада образуется ^{210}Pb , который со временем возвращается на подстилающую поверхность с атмосферными выпадениями. Таким образом, существует непрерывный атмосферный поток ^{210}Pb , активность которого не поддерживается распадом долгоживущего ^{226}Ra . Предполагается, что поток ^{210}Pb на земную поверхность постоянен во времени. Широтное распределение выпадений ^{210}Pb имеет два максимума, соответствующие 30° – 50° северной и южной широты. В северных широтах поступление ^{210}Pb с атмосферными выпадениями выше, поскольку большая часть суши сосредоточена в северном полушарии.

Исследовано вертикальное распределение радиоцезия в донных отложениях из различных частей акватории Белого моря. Результаты определения ^{137}Cs показали относительно равномерное распределение его в поверхностном слое донных отложений. Практически повсеместно его удельная радиоактивность в верхних 2 см составляет 16–35 Бк/кг. Среднее значение составило 24,5 Бк/кг. Однако запас ^{137}Cs меняется в существенно более широких пределах: 270–3030 Бк/м² при среднем значении 810 Бк/м². Вертикальные профили ^{137}Cs в донных отложениях почти повсеместно имеют подповерхностный максимум в горизонте 1–3 см. Исключение составляют лишь те станции, где существенное влияние имеет речной сток, в частности, в устье Северной Двины. Характер вертикального распределения ^{137}Cs в близко расположенных друг от друга колонках донных осадков практически одинаков, кроме поверхностного слоя (0–4 см), где активность может различаться в разы. Это связано, прежде всего, с различием гранулометрического состава осадков, что в свою очередь может быть вызвано различием морфологии дна акватории.

Вертикальное распределение плутония, полученное для некоторых проб из центральной части и Онежского залива, во многом повторяет распределение ^{137}Cs . Было установлено, что 18 – 20% плутония, обнаруженного в водах Белого моря, связано с коллоидным материалом в открытой части моря и около 70% плутония найдено в коллоидной фракции в эстуарной зоне (Двинской залив). Тенденция к увеличению доли коллоидного плутония с приближением к зоне смешения река-море согласуется с данными, полученными в ГЕОХИ РАН ранее для эстуарных зон Карского моря, и объясняется увеличением общей концентрации взвешенного материала в воде и интенсивными процессами осаждения и коагуляции взвешенного и коллоидного материала в зоне смешения.

Обращает на себя внимание, что соотношение $^{238}\text{Pu}/^{239,240}\text{Pu}$ в исходных пробах морской воды из Белого моря, как и для проб из Карского и Баренцева морей, варьировалось в пределах 0,1 – 0,32. Это гораздо выше значения, характерного для глобальных выпадений (~0,04), и более близко к значениям выбросов с предприятий ЯТЦ (0,2). Однако маловероятно влияние удаленных источников на достаточно изолированные заливы Белого моря. Скорее всего, источников техногенного загрязнения радионуклидами несколько: затопленные в заливах Новой земли контейнеры с твердыми радиоактивными

отходами, авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), российские предприятия ЯТЦ, расположенные в бассейнах Оби и Енисея.

Установлено, что во взвешенном веществе всех проб из Карского, Баренцева и Белого морей преобладает плутоний (IV). Плутоний (V, VI) в заметных количествах обнаружен только во фракции мелких коллоидных частиц (3 - 15кДа). Максимальное содержание плутония в высших состояниях окисления найдено в пробах из эстуарных зон рек Енисей и Двина. Возможно, это свидетельствует о том, что высшие валентные формы плутония более устойчивы в опресненных водах и в море вносятся стоком речных вод.

3. Углеводородные системы Арктики от Аляски до Баренцева моря в связи с прогнозом нефтегазоносности Арктического шельфа России.

Россия обладает крупнейшим в мире шельфом, большая часть которого приходится на арктическую зону. На арктическом шельфе сосредоточены огромные ресурсы углеводородов, что позволяет считать его недра важнейшим резервом углеводородов XXI века. Из более чем 6 млн. км² арктического шельфа, занимающего первое место в мире по своей протяженности, около 4,2 млн. км² являются перспективными на нефть и газ. По прогнозным оценкам, начальные извлекаемые энергетические ресурсы шельфа составляют около 100 млрд. т у.т. в пересчете на нефть (из них примерно 80% или 80-85 млрд. т у.т. сосредоточено в Арктике). С открытием крупнейших нефтяных месторождений Аляски на северо-аляскинском шельфе (море Бофорта) роль Арктики в балансе мировых ресурсов становится одной из главных уже в ближайшем будущем.

В Западной части Арктического шельфа сосредоточены углеводородные ресурсы Баренцево-Карского региона. Начальные извлекаемые углеводородные ресурсы шельфа Баренцева моря, совместно с Печорским и Карским морями, суммарно составляют 80 % всех извлекаемых ресурсов Российского континентального шельфа или 80-85 млрд. т.

Дальнейшее направление поисково-разведочных работ на нефть и газ в Западно-Арктическом шельфе России – Баренцевоморский нефтегазоносный регион. В Баренцевоморском нефтегазоносном регионе расположено Штокмановское газоконденсатное месторождение.

Южная часть Баренцева моря является акваториальным продолжением Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Залежи нефти выявлены в верхнепалеозойских отложениях Тимано-Печорской провинции и в Баренцевом море. По всем геохимическим показателям Южно-Баренцевоморский нефтеносный район стоит в одном ряду с нефтяными месторождениями северной части Тимано-Печоры.

Среди арктических морей России выделяется северо-восточный сектор: восточная часть моря Лаптевых, Восточно-Сибирское море с Новосибирскими островами и Чукотское море с островами Врангеля и Геральда, а также остров Сахалин. В пределах восточного сектора российской Арктики не открыто ни одного месторождения нефти и газа, но перспективы нефтегазоносности оцениваются по наличию крупных месторождений в тех же толщах в смежных районах Аляски. Благоприятная прогнозная оценка шельфов этого региона подтверждается открытием крупного газоконденсатного месторождения Бюргер на Чукотском шельфе США. В пределах северо-восточного сектора относительно более изученными являются бассейны моря Лаптевых и Северо-Чукотский. Перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов Чукотского моря базируются на информации о нефтегазоносности севера Аляски, где открыто крупное нефтяное месторождение Прадхо-Бей. В скважинах Попкорн, Даймон, Клондайк, пробуренных на шельфе Чукотского моря, известны многочисленные нефтепроявления.

Крупнейшие месторождения углеводородов Дальнего Востока: Пильпун-Астохское нефтяное и Лунское газовое (проект Сахалин-2); суммарные извлекаемые запасы двух месторождений 150 млн. т нефти и 500 млрд. м³ газа. На месторождениях Чайво, Одопту и Аркутун-Даги (проект Сахалин-1) суммарные извлекаемые запасы составляют 307 млн. т нефти и 485 млрд. м³ газа.

Комплекс современных геохимических исследований, основанный на работах ведущих геохимиков мира [5-9], позволил с генетических позиций оценить перспективы нефтегазоносности Арктического шельфа России.

Выводы

Выполнена работа по систематизации результатов изучения четвертичных и современных донных осадков и выявлению закономерностей современной седиментации как итога эволюции мезозойско-кайнозойской седиментации в Арктическом бассейне. Исследована средняя скорость седиментации в Арктическом бассейне за пять последних изотопных стадий, а также тонкая структура осадочных образований в приполярном районе.

Проведена работа по сбору и обработке материала в развитие концепции формирования современного шельфа Карского моря как результата голоценовой трансгрессии.

Предполагается, что последняя привела к деградации ранее существовавшей толщи многолетнемерзлых пород и изменениям в распространенности газгидратов. При этом происходил подток метана из газогидратов, что вносило вклад в формирование углеводородного поля в осадках Карского моря и, возможно, влияло на изменение климата в Арктике. Работа в этом направлении требует получения данных по радиоуглеродному датированию.

Другое направление исследований было связано с созданием базовой картины экологического мониторинга в Карском море в связи с разведочными работами на нефть и газ в акватории Карского моря. Произведен сравнительный анализ геологического строения и геохимии нефтидов Аляски и Чукотки. По изотопному составу изученные нефти показывают сходство с нефтями Аляски, где, как известно, открыты крупнейшие месторождения нефти, включая Прадхо-Бей, с запасами свыше 3 млрд. тонн. Сходство геологического строения Северной Аляски и Чукотки позволило сделать вывод о высоких перспективах нефтегазоносности Северо-Чукотского шельфа Российской Арктики.

Результаты проведенных радиоэкологических исследований различных акваторий Белого моря показали, что запас ^{137}Cs определяется преимущественно количеством, а не удельной радиоактивностью осаждающегося материала. Наибольший запас ^{137}Cs накоплен в осадках устьевых зон, в первую очередь Северной Двины.

Изучены физико-химические формы плутония (степень окисления, коллоидообразование) в морских водах Арктического бассейна. Установлено, что по сравнению с материковыми пресными поверхностными и грунтовыми водами, плутоний в морской среде в меньшей степени связан с коллоидным веществом и поэтому его подвижность выше.

Проведенные геохронологические исследования молодых осадков по модели постоянной активности ^{210}Pb позволили рассчитать величины скоростей седиментации двух озер Кольского полуострова.

Литература

1. Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geologic Time Scale 2004. Cambridge Univ. Press, 2004. 599 p.
2. А.Б. Ронов. Осадочная оболочка Земли (количественные закономерности строения, состава и эволюции). М.: Наука, 1980. 78 с.
3. М.А. Левитан, И.А. Рощина, В.Ю. Русаков, К.В. Сыромятников, Р. Шпильхаген. Четвертичная история седиментации на подводном хребте Ломоносова (Северный Ледовитый океан). В кн.: Строение и история развития литосферы. Отв. ред. Ю.Г. Леонов. М.- С-Птб.: Paulsen Editions, 2010. 464–490.
4. М.А. Левитан, И.А. Рощина, В.Ю. Русаков, К.В. Сыромятников, Р. Шпильхаген. История осадконакопления на подводной континентальной окраине Карского моря за последние 190 тыс. лет. В кн.: Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. Вып. 2. Отв. ред. Ю.А. Лаврушин. М.: ГЕОС, 2010. 174–198.
5. Э.М. Галимов. *Геохимия*, 1989, 2, 163–180.

6. Б. Тиссо, Д. Вельте. Образование и распространение нефти. Пер. с англ. М.: Мир, 1981, 501 с.
7. Д. Хант. Геохимия и геология нефти и газа: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 704 с.
8. K. Peters, J. Moldowan. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
9. K. Peters, J. Moldowan, A. Driscoll, G. Demaison. Origin of Beatrice oil by cosourcing from Devonian and Middle Jurassic source rocks, Inner Moray Firth, UK. *AAPG Bull.*, 1989, **73**, 454–471.