

РЕЦЕНЗИИ

НОВАЯ КНИГА О СТРОЕНИИ ДНА СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ¹

За последние десятилетия накопился огромный материал по геоморфологии, тектонике и донным отложениям Средиземного моря. Особенно ценные сведения были получены о глубинном строении дна в результате двух рейсов судна «Гломар Челленджер» (1973, 1987), выполнявшихся по программе Проекта глубоководного бурения, сопровождавшегося геофизическими исследованиями, в частности сейсмическим профилированием.

Вместе с тем, ряд сторон комплексной проблемы изучения структуры морского дна в полосе древнего океана Тетис остается до сего времени не освещенным полностью. В первую очередь это относится к верхней части покрова донных отложений, локальным проявлениям тектоники и происхождению рельефа холмистых пространств дна, широко распространенных на большей части акватории Средиземного моря. Строение холмов и их генезис долгое время также оставались неясными.

Небольшая монография А. В. Живаго, написанная по результатам геолого-геоморфологических работ, проводившихся в экспедиции 1-го рейса научно-исследовательского судна (НИС) «Академик Сергей Вавилов» Института океанологии РАН с использованием новой эхорегистрирующей системы «Парасаунд Атлас Электроник», впервые детально освещает структуру осадочного покрова верхних 60—100 м толщи отложений, слою которой, деформированные внедрившимися в них соляными телами, изображались до сего времени на сейсмограммах как единый «прозрачный» слой. Помимо рельефа дна, указанная система позволяет получать отчетливые изображения поддонных слоев осадков, форм их дислокаций, проявлений соляной тектоники, самих соляных тел, находящихся в толще отложений или вышедших на поверхность в виде холмов. При этом используются плотностные характеристики составляющих толщу осадков и соляных включений, выражающиеся на эхограммах в разных оттенках черного цвета и полутонах. Исследования показали, что холмы на дне сложены солями (гипс, ангидрит, галит), как и давшие им начало глубинные тела.

Книга открывается кратким «Введением», содержащим описание системы «Парасаунд» и возможностей, открывающихся с ее применением. Система представляет собой комбинацию поддонного профилографа и узколучевого глубоководного эхолота с сигналом, проникающим в толщу отложений до глубины 100 м (обычно 60—80 м). Работает в параметрическом и монорежиме. Частоты в параметрическом режиме 2,5—5,5 кГц в монорежиме — 18—33 кГц. С помощью двух усилителей, мощностью 2×35 кВт, изображение соляных диапиров, поддонных слоев, а также особенности структуры осадочной толщи фиксируются в черно-белом исполнении на ленте и высвечиваются в оттенках разных цветов на колороскопе «302». Кроме того, имеется блок цифровой индикации, на котором выступают значения регистрируемых глубин дна с точностью до 0,1 м. Прибор работает в различных диапазонах глубин: 0—5000; 0—1000 м и т. д. В шкале расширителя выделены также более мелкие поддиапазоны: 0—500; 0—200; 0—100 м, позволяющие регистрировать малые формы рельефа и детали тектонических нарушений в толще отложений. Пределы измерения морских глубин при частоте 18 кГц — 10 000 м; при 33 кГц — 4000 м. Фиксирование цветного изображения (слоев разной плотности) возможно, к сожалению, только фотоспособом извне. Работа всех блоков системы «Парасаунд» безупречна. По-видимому, это наиболее совершенная и надежная эхорегистрирующая система из существующих сейчас в мире.

В первой части книги рассматриваются общие черты эволюции котловин Западного и Восточного Средиземноморья в связи с мессинским соляным кризисом. Они различны в тектоническом плане и по возрасту. Соответственно выделяется два типа: 1) котловины, расположенные между плитами или внутри орогенических систем (Западное Средиземноморье) и 2) котловины между стабильными окраинами и подвижными орогеническими зонами (Восточное Средиземноморье). Рассмотрен ход тектонических преобразований котловин обоих типов в неогене и квартере.

Описанию структурных преобразований, внесенных в осадочную толщу внедрением соляных тел, предпослан обзор истории мессинского соляного кризиса конца миоцена. Около 6,5 млн. лет тому назад на дне Средиземного моря произошли кардинальные преобразования, изменившие весь ход развития географической среды огромного региона в пограничной полосе Европы и Африки. В результате многократных иссушений и заполнения водами морских котловин на их дне отложились мощные толщи эвапоритов и пласты чистой соли (ангидрит, гипс, галит), которые и послужили позже источниками

¹ А. В. Живаго. Проявления соляной тектоники в поверхностных слоях донных отложений Средиземного моря. М.: Наука, 1994.

диапиров, внесших в плиоцене-плейстоцене существенные изменения в структуру накопившихся на дне отложений. Продолжительность мессинского века составила около 1 млн. лет. При этом сама фаза иссушения и образования соляных залежей укладывается в период немногим более 0,5 млн. лет. За это время в западных котловинах накопились эвапориты мощностью 1—1,5 км, а в восточных — даже до 2,5 км. Скорости солевого осадконакопления в мессинский век, по-видимому, превышали 500 см/1000 лет, что до сих пор остается загадкой. В Восточном Средиземноморье эвапоритовые залежи, преимущественно сульфатно-карбонатного состава, накапливались в стремительном темпе — до 30—40 см/1000 лет. Пра-русла Нила быстро заполнялись флювио-морскими отложениями с крупными линзами ангидрита, гипса и известняков. Под Анталийской абиссальной равниной сольсодержащие толщи достигли мощности 2,5 км.

Проявления галокинеза в верхних слоях донных отложений достаточно многообразны. Съемки «Парасаундом» позволили выявить морфологические различия соляных тел, как на поверхности дна, так и внутри осадочной толщи. Они же позволили увидеть на лентах самописцев особые виды складок нагнетания, с различными по форме и крутизне изгибами, всевозможные разрывы, смятия и растяжения слоев осадков, образующихся при диапировых вторжениях. Соль обладает малой плотностью ($2,2 \text{ г/см}^3$) и высокой пластичностью, тогда как плотность настилающихся над ней осадков, например, песчано-глинистых, имеющих удельный вес около 2,5, постепенно возрастает по мере накопления новых толщ и литификации более древних образований. При накоплении более 600 м отложений гидростатическое давление достигает нескольких десятков кг/см^2 (до 90 кг/см^2), возникает конвективная неустойчивость соли и начинается ее истечение с подъемом к поверхности дна.

Специальный раздел монографии посвящен морфологии соляных вторжений. Выявляется следующий морфологический ряд (в порядке убывания размера): 1) *Соляная подушка* — первая стадия образования соляной структуры на глубине. «Подушки» представляют собой первичные соляные вздутия, имеющие изометрические очертания (округлые или овальные в плане) и плоскую или слегка выпуклую поверхность. На эзограммах «Парасаунда» одна из подушек зарегистрирована в море Леванта, где она достигает в поперечнике более 60 км. Ее поверхность деформирована разломами и в ряде мест надстроена куполами и штоками, не выходящими, однако, на поверхность дна.

2) *Соляные купола* — массивные вторжения соли в виде свода или широкого конуса с округлой вершиной. Иногда они поднимаются над поверхностью дна на высоту до 30—60 м, образуя холмы с широкими основаниями. В пределах верхних 80—100 м осадков зафиксированы купола, имеющие в поперечнике от 4 до 16 км.

3) *Соляные штоки* — самая распространенная форма диапировых структур. Это более узкие (2—4 км), по сравнению с куполами, соляные включения в осадки, нередко выходящие также в водную среду до высоты над дном 10—120 м (в море Леванта — до 216 м). Имеют заостренные вершины и крутизну склонов 5—8°. Часто объединены в группы или ряды длиной до нескольких десятков миль.

4) *Свечи* — наиболее узкая разновидность штоков. Нередко представляют вышедшие на поверхность осадочного покрова вершинные части растрескавшихся куполов и штоков; реже — самостоятельные воздымания соли с больших глубин по плоскостям разломов и трещин. По ширине не превышают 800—900 м (на Сардино-Балеарской равнине — 450—500 м). Вершины, как правило, острые, склоны достигают крутизны 6—8°. Несут следы растворения и размыва течениями в виде ноздреватых поверхностей и каверн на вершинах и склонах.

5) *Воронки* — отрицательные, деструктивные формы поверхности дна, возникающие в результате растворения соли или размыва ее придонными течениями. Воронки имеют обычно глубину 10—15 м. Ширина по верхнему краю 100—600 м. Встречаются сложные формы из вложенных одна в другую воронок, отражающих стадии размыва и растворения соли на вершинах штоков, куполов и свечей вблизи поверхности дна.

6) *Булыжная мостовая* — вышедшие на поверхность или остановившиеся в толще осадков на одинаковой глубине многочисленные вершинные части куполов и штоков, распространенные на большой площади и тесно прижатые друг к другу. На поверхности дна такие холмы из чистой соли широко распространены в море Леванта.

Огромное влияние на развитие процессов галокинеза оказывает тепловой поток, направленный из недр Земли. Соляные тела обладают термической проводимостью в 4—5 раз большей, чем включающая их осадочная толща. Вследствие этого тепловой поток над гребнями диапировых структур оказывается в 2—3 раза большим, а само воздымание нагретых тел более быстрым. Повышенное значение потока наблюдается там, где на небольшой глубине присутствует горячий мантийный материал и соответственно нагреты соляные тела, приобретающие вследствие этого повышенную текучесть. Наиболее высокие значения потока — до 239 мВт/м^2 отмечены в котловинах Западного Средиземноморья, где в широкой полосе раскрытия дна распространена океаническая земная кора. Пласт соли нагрет здесь до 200°C .

Наибольшая по объему глава книги посвящена подробному анализу морфологии дна, структуры осадочного покрова и проявлениям тектоники на западе и востоке Средиземного моря. На западе рассмотрению подверглось дно в Гибралтарском проливе, в котловинах моря Альборан и Алжирской котловине вместе с Сардино-Балеарской абиссальной равниной. На востоке — Левантинская котловина, дельта Нила, возвышенности Эратосфена и Флоренс. Всем им посвящены отдельные разделы главы, содержащие описания структурно-морфологических особенностей дна, выявленных по данным эзограмм «Парасаунда» и приведенных на 20 факсимильных иллюстрациях. Для большинства из них, с учетом скоростей седиментации, рассчитан возраст отдельных слоев и время вторжения в толщу отложений соляных тел, нередко полностью прорывающих покровы осадков.

Заключительный раздел монографии посвящен истории формирования структуры, развития рельефа дна и определениям возраста слоев, составляющих верхние 60—100 м осадочной толщи,

откалывавшихся на протяжении большей части т. н. «ледникового плейстоцена» (около 300 тыс. лет) от ледниковой эпохи до голоцена включительно. Выявлены новые закономерности накопления осадков в котловинах. Съемки «Парасаундом» позволили установить почти повсеместное присутствие в толще слоя уплотненных терригенных осадков и турбидитов, мощностью около 20 м на глубине до 60 м от поверхности дна. Этот слой, служащий нередко препятствием для продвижения вверх отдельных диапиров, отложился в период от 100 до 10 тыс. лет тому назад, т. е. в вюрмскую ледниковую эпоху, когда снижался уровень моря и реки, врезаясь в отложения шельфа, приносили на дно котловин обильный кластический материал. Большой интерес представляют данные о возрасте осадочных накоплений подводной части дельты Нила, где те же 60—100 м осадочной толщи отложились всего за 100—150 тыс. лет благодаря исключительно высокой скорости седиментации — до 40 см/1000 лет.

Полученные новые данные по стратиграфии плейстоцена на западе и востоке Средиземного моря, обработанные с большой тщательностью, окажутся ценным дополнением к существующим материалам по истории осадконакопления в бассейне Средиземного моря в связи с процессами галокинеза. Остается только пожалеть, что дно центральной части моря не нашло отражения на эхограммах «Парасаунда», поскольку НИС «Академик Сергей Вавилов» проходило эти воды со скоростью 14—15 узлов, когда детальная картина дна почти полностью элиминируется.

Как удалось установить в результате проведенного исследования, в общем процессе поступления осадочного материала на морское дно наблюдается плановое увеличение скоростей седиментации к концу плейстоцена, по сравнению с его началом и плиоценом, что может служить объяснением того, что современная поверхность накопления отложений еще не пришла в состояние равновесия. Средиземное море как море межконтинентального типа, окруженное на большей части своих берегов горными массивами, продолжает получать огромное количество сносимого с суши материала, распределение которого на дне остается неравномерным, лишь частично подчиненным нивелирующему воздействию агентов внешней среды.

А. В. Борисевич, Н. С. Благоволин

ЭРОЗИЯ, СЕЛИ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА В ГОРНЫХ СТРАНАХ

Такова тема международного симпозиума, состоявшегося в г. Ченду (Китай) в июле 1992 г. Симпозиум был организован Международной комиссией по континентальной эрозии, Международной ассоциацией гидрологических наук и Академией наук КНР. К симпозиуму в Англии был выпущен сборник, содержащий 55 докладов¹. Редакторы сборника — известные специалисты по эрозии и селевым потокам Д. Е. Уоллинг (Великобритания), Т. Р. Девис (Новая Зеландия) и В. Гасхольт (Дания).

Сборник состоит из трех примерно равных частей. Первая посвящена эрозии и транспорту наносов. М. Бордаш и Д. Сильвестрини (Бразилия) предложили два достаточно простых безразмерных критерия, позволяющих разграничить условия переноса и осаждения в потоке взвешенных наносов. В конструкциях критериев учтены такие характеристики потока, как уклон, вязкость воды, концентрация наносов и др. На понимание гидродинамической сущности эрозии и стока наносов направлены также доклады Т. Окабе (Япония), предложившего новую модель перемещения наносов на основе схеме Макормика, М. Л. Кеваса и Р. С. Говиндарайо (США), получивших уравнение смыва по склоновым микроручьям, К. Шармы, Д. Р. Дири и Дж. Морфи (Индия), Чао Шуйю и Фан Дуо (Китай), разработавших уравнения транспорта наносов для различного сочетания условий эрозии и переноса ее продуктов. Во всех статьях авторы приводят данные о хорошей сходимости расчетных (модельных) показателей эрозии с измеренными в полевых или лабораторных условиях. Близкий подход виден в статье К. Ло, С. Чанга, Б. Цая (Тайвань), опробовавших модель AGNPS Службы агрикультурных исследований США в трех малых бассейнах Тайваня (в совокупности с имевшимися геоинформационными системами).

Анализ большого банка данных о стоке наносов в горных областях Земли позволил А. П. Дедкову и В. И. Мозжерину (Россия) выявить зависимости интенсивности эрозии от ряда важнейших факторов — рельефа, климата и ландшафта, состава горных пород, деятельности человека. Ими установлены два типа функционирования системы эрозии в горах, один из которых характеризуется преобладанием бассейновой эрозии, другой — русловой.

Десять лет наблюдений за стоком наносов в небольшом (96 км²) речном горном бассейне центральной Сербии, проведенных М. Джуровичем (Югославия), показали невозможность использования для этой цели расчетных методов Полякова, Келлера и Гергелидзе. Последние дают результаты, многократно превосходящие полученные автором статьи. Однако вряд ли справедливо делать столь далеко идущие выводы на основании изучения лишь одного небольшого бассейна.

Четыре статьи (все с участием Д. Уоллинга, Великобритания), посвящены исследованию радионуклидов ¹³⁷Cs в исследовании эрозии и стока наносов в различных по географическим условиям районах Земли. Насыщение ¹³⁷Cs почв и наносов началось в середине нашего века в связи с испытаниями ядерного оружия, изменения концентрации изотопа отражают интенсивность этих испытаний. Использование метода в двух бассейнах флишевых Карпат совместно с В. Фролихом (Польша)

¹ Erosion debris flows and environment in mountain regions//Proc. Internat. Sympos. held at Chendu, China, 5—9 July 1992/Es D. Walling, T. R. Davis, B. Hasholt. IASH Publ. 1992. № 209. 485 p.