

*Л.Г. НИКИФОРОВ***ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПОИСКА ПОГРЕБЕННЫХ СТРУКТУР
НА МОРСКИХ ПОБЕРЕЖЬЯХ**

В последние годы при решении различных геолого-геоморфологических вопросов начали применяться методы моделирования природных процессов в лаборатории. Многие из них изучаются в Лаборатории экспериментальной геоморфологии Географического факультета МГУ, где под руководством Н.И. Маккавеева была разработана методика эксперимента, позволяющая исследовать взаимодействие эндогенных и морских экзогенных факторов. Основная трудность методического решения вопроса в отношении сохранения законов подобия заключалась в подборе модельного материала, поскольку до настоящего времени при тектоническом моделировании применялись вязкие и пластичные материалы, которые являются водоотталкивающими. В лаборатории в течение длительного времени производились специальные опыты, в результате которых был найден новый модельный материал. Исследования показали, что насыщенный водой песок, состоящий в основном из фракции 0,25-0,1, при тектоническом воздействии ведет себя как пластичное тело; таким образом, при производстве экспериментов мог быть соблюден масштаб времени опыта и времени течения геологических процессов. Одновременно песчаные грунты легко поддаются воздействию экзогенных процессов, в частности воздействию морского волнения и течений.

С использованием данного модельного материала была произведена большая серия экспериментов, в задачу которых входило изучение рельефа: а) подводного склона, формирующегося при воздействии фронтальных волн и колебании уровня бассейна; б) дна при росте антиклинальной складки на глубине, превышающей глубину проникновения волновых движений и в) подводного склона, формирующегося при росте положительных структур в различных его зонах.

Все эксперименты производились в бассейне со стеклянными стенками размером 2 x 6 м при высоте стенок 1 м. На дне бассейна из песчаного материала указанного механического состава укладывался склон крутизной 5 или 15°, после чего бассейн заполнялся водой до определенного уровня. Колебания уровня бассейна производились медленным сифонным сливом или наливанием воды. Скорость опускания или подъема уровня на 1 см колебалась от 1 до 3 часов. Волновые движения воды возбуждались волнопродуктором специальной системы, ныряло которого приводилось в движение электромотором. Действие волнопродуктора ограничивалось возбуждением волновых колебаний только в самой верхней части водной толщи. Параметры волн во всех опытах были практически постоянными и равнялись: высота (h) волны 1,5 см; длина (L) волны 40 см, $h/L = 0,04$.

Тектонические процессы в экспериментах воспроизводились путём применения гидравлической подушки, устройство которой было следующим. На металлическом основании стальным кольцом плотно прижимался слой вакуумной резины. Полость между основанием и листом резины заполнялась водой, поступающей из резервуаров под давлением 3 атм. По мере поступления воды образовывалась правильная сферическая поверхность, причем растяжение слоя резины при подъеме купола по всей площади происходило равномерно. Одновременно с координатником фиксация результатов опытов в основном производилась фото-методом. Плановая фотосъемка осуществлялась аэрофотоаппаратом, установленном над бассейном и перемещавшимся вдоль длинной его оси. Фотографирование геоморфологических и геологических профилей производилось

через стеклянные стенки бассейна; в ряде случаев была сделана перспективная съемка моделей. Точное масштабное фотографирование позволяло получать все измерения на фотографиях, чем достигалось сокращение времени эксперимента.

Подготовка модели производилась следующим образом. На дне бассейна устанавливалась гидравлическая подушка, которая покрывалась слоем песка мощностью до 15 см. Песчаный материал в бассейне разравнивался специальным устройством, с помощью которого можно было моделировать склоны крутизной от 0 до 25°. Следует отметить, что в районе расположения структуры песчаный материал укладывался обычно несколькими слоями мощностью 1-2 см, разделенными маркирующими горизонтами. Последние представляли собой тонкие (1-2 мм) прослойки песка того же механического состава, окрашенного анилиновыми красителями. После проведения всех указанных действий бассейн заполнялся водой до заданного условиями эксперимента уровня.

В лаборатории была сконструирована машина, с помощью которой была получена возможность воспроизведения процесса осадконакопления во время опыта. Эта машина представляла собой ленту транспортера, на которую насыпался слой сухого песка, мощность его регулировалась специальным приспособлением. При движении ленты транспортера песок равномерным слоем мощностью от 0,5 до 5 см высыпался на дно бассейна, покрывая всю модель или часть ее. Обычно высыпание песка производилось в бассейн, наполненный водой, что способствовало более равномерному покрытию участка дна наносами.

Первая серия экспериментов сводилась к изучению процессов переформирования подводного берегового склона под воздействием фронтальных волн и колебания уровня бассейна. Результатом этих опытов явилось выделение комплекса форм рельефа подводного склона, созданных в процессе волнового воздействия без участия тектонических движений.

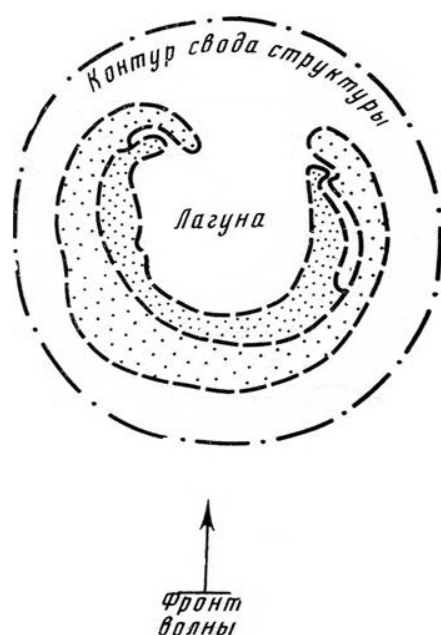


Рис. 1. Возникновение берегового бара на своде растущего островного поднятия (по экспериментальным данным)

На следующем этапе было воспроизведено так называемое островное поднятие, т.е. имитирован рост антиклинальной складки, зарождение которой происходило на глубине, превышающей глубину проникновения волновых движений. По мере роста антиклинальной складки свод ее постепенно приближался к уровню водоема, превращаясь в мелководную банку, и начинал подвергаться волновой переработке. Воздействие волн сводилось к перераспределению рыхлого материала в пределах свода антиклинали и образованию на нем подводных аккумулятивных форм. Последние представляли собой серию крупных подводных валов кольцеобразной формы, обращенных выпуклостью к фронту волны (рис. 1).

По своему генезису описанные аккумулятивные образования относятся к береговым барам, отличительной особенностью которых является их возникновение в результате поперечного перемещения наносов. По мере роста бара на его дистальных окончаниях все большую роль начинают играть процессы продольного перемещения наносов, вследствие чего бар

увеличивается в размерах и в классическом случае приобретает кольцеобразную форму. Однако в зависимости от рельефа дна и особенностей гидрометеорологического режима береговые бары в ряде случаев не сохраняют своих характерных очертаний, а имеют вытянутую форму. Морфологически береговой бар отличается от других аккумулятивных

образований тем, что центральная его часть представляет собой серию крупных валов, расположенных параллельно друг другу и сложенных из материала, выброшенного со дна. Ближе к дистальным окончаниям валы могут перекрещиваться, напоминая в плане рисунок береговых валов на косах. Это представляется естественным, поскольку, как указывалось, на дистальных окончаниях бара значительную роль начинает играть продольное перемещение наносов.

О происхождении баров имеются самые противоречивые мнения. Так Д. Джонсон полагал, что бары характеризуют берега поднятия. В.П. Зенкович [1946], А.П. Каплин [1957], А.С. Ионин [1958] и О.К. Леонтьев [1960a] считали, что бары свойственны берегам погружения. В последние годы О.К. Леонтьев и автор данной статьи снова вернулись к точке зрения Д. Джонсона [Леонтьев, Никифоров, 1965; Никифоров, 1964]. Что касается условий возникновения береговых баров, то О.К. Леонтьев [1960б] установил, что для образования бара необходим резкий перегиб профиля подводного склона, а Е.Н. Егоров [1951] показал, что подводные валы, являющиеся образованиями, родственными барам, не выходят над уровнем моря при условии, если последний повышается или остается постоянным. Возвращаясь к экспериментам, следует отметить, что подводные аккумулятивные формы типа баров также никогда не появлялись над уровнем бассейна только в результате своего развития или тектонического поднятия - они уничтожались волнами. Превращение подводных баров в надводные формы происходило только в результате совмещения скоростей тектонического поднятия и опускания водоема.

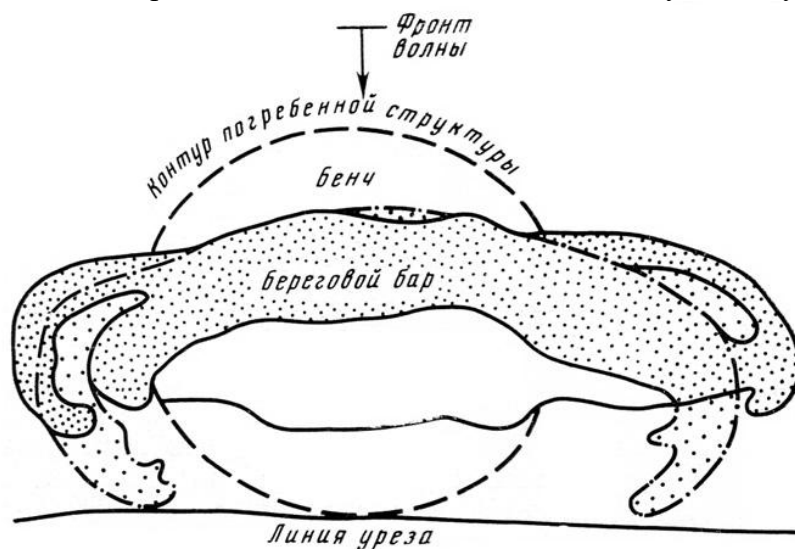


Рис. 2. Эволюция берегового бара, возникшего на своде структуры, поднимавшейся вблизи берега (по экспериментальным данным)

На следующем этапе работ производились опыты по изучению роста тектонических структур в пределах подводного склона при уклонах 5 и 15°. При воздействии волнения на свод структуры, растущей в пределах крутого подводного склона, на ее мористой переклинали резко увеличивались уклоны дна, что вызывало интенсивную абразию данного участка. При подъеме или опускании уровня бассейна интенсивность переработки отдельных частей структуры зависела от положения уреза воды. Когда в «фокус» размыва попадал свод структуры, то продукты абразии перемещались вниз по склону, выравнивая его в районе мористой периклинали структуры. Перемещение наносов вниз по подводному склону, по-видимому, связано в основном с первичными большими уклонами последнего. При этом в пределах мористой периклинали структуры образовывалась подводная аккумулятивная форма типа бара. В разрезах осадочной толщи моделируемых структур очень четко прослеживалась зона размыва верхнего слоя и значительное уменьшение мощности осадков в пределах береговой периклинали области свода поднятия. В то же время в районе мористого крыла складки за счет подводного

аккумулятивного образования мощности осадков увеличились вдвое. В результате этого произошло некоторое смещение оси свода структуры в сторону моря.

Переходя к натурным исследованиям, следует отметить, что при анализе мощностей совершенно не учитывается возможность увеличения мощности слоев за счет образования и захоронения подводных аккумулятивных форм. При росте структуры в условиях безволнового режима следовало бы ожидать значительного уменьшения мощностей осадков на своде за счет растяжения слоя. При этом при механических деформациях, возникающих в результате поднятия купола, величину уменьшения мощности слоев точно определить очень трудно. На геологических профилях часто отмечается своеобразное распределение мощностей осадков на сводах положительных структур: на одном крыле развитые нормальные мощности, затем, ближе к своду, отмечается их увеличение, достигающее максимума на вершине купола. Обычно считают, что такое распределение мощностей связано с инверсией структуры, увеличенная мощность создалась в фазу ее опускания. Указанные тектонические представления основываются на мнении большинства геологов о том, что формы рельефа, созданные экзогенными факторами, не сохраняются в геологических разрезах, и все особенности строения структур и изменения мощностей осадочного чехла связаны исключительно с тектоническими причинами.

Экспериментальные исследования показали, что увеличение мощности осадков в районе развития структуры может происходить и без участия инверсии, но в случае волнового воздействия на свод растущей антиклинали. При этом возникают мощные аккумулятивные формы, изменяющие картину распределения осадков и обуславливающие смещение свода в сторону моря за счет влияния экзогенных факторов. При захоронении указанных аккумулятивных форм, что может произойти в случае быстрого превышения критической глубины или при интенсивном приносе материала со стороны, будут зафиксированы увеличенные мощности осадков на куполе структуры. Это особенно относится к складкам, которые в течение длительного времени развивались в мелководных условиях. Подтверждением высказанному является, например, история развития Седельской и, частично, Ухтинской структур Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [Леонтьев, Никифоров, 1965а]. На основании экспериментальных работ было доказано, что увеличение мощностей верхнедевонских отложений на своде Седельской структуры связано не с инверсией ее в указанное время, а с образованием крупных аккумулятивных форм типа баров, венчавших купол складки, развившейся в мелководном морском бассейне.

В случае роста структуры в пределах пологого подводного склона основной зоной накопления материала, полученного в результате размыва купола, являлась береговая периклиналь складки, где также возникали аккумулятивные формы типа подводных баров. Этот факт показывает, что зоны накопления материала, а соответственно и направление смещения оси свода структур, зависят в первую очередь от первичных уклонов поверхности морского дна, в пределах которого происходит развитие антиклинальной складки.

Еще более яркие примеры смещения оси антиклинали отмечались в том случае, когда поднятие происходило в средней части подводного склона на значительном удалении от уреза. Средняя часть подводного склона в наибольшей степени подвергалась абразии, а материал размыва при росте тектонической структуры перемещался в сторону берега. При этом происходило образование крупной подводной отмели, ограниченной со стороны берега глубокой ложбиной. Описанная аккумулятивная форма постепенно передвигалась к берегу, приобретая одновременно асимметричные очертания. В результате подводная отмель придвинулась к берегу на расстояние, равное диаметру структуры, т.е., другими словами, ось купола сместилась в сторону берега на указанное расстояние.

Таким образом, в условиях роста структуры на крутом подводном склоне происходит смещение оси свода в сторону моря, а при росте в пределах пологого

подводного склона и в средней части склона смещение оси свода происходит в сторону берега.

В каждом из проведенных 120 экспериментов отмечалось появление своеобразных аккумулятивных форм типа береговых баров. Какие принципиально новые материалы, связанные с условиями образования баров, были получены на основании экспериментальных исследований?

В процессе роста структуры ее свод появлялся в подводном рельефе в виде отмели округлых очертаний. Отмель служила препятствием для волн, которые, разбиваясь у внешнего ее края, энергично абрадируют подводный склон. Зона размыва последнего обычно была ограничена районом роста антиклинали. Таким образом, происходил постепенный размыв свода, а материал размыва служил источником для образования аккумулятивных форм. Подводная отмель, возникавшая при росте структуры, ограничивала развитие подводных баров. При росте структуры в случае регрессии бассейна бары перемещались только в пределах зоны поднятия и при дальнейшем опускании уровня превращались надводные формы рельефа. В трансгрессивную фазу надводные бары вновь затоплялись, несколько увеличиваясь в размерах, и смещались в зависимости от уклона подводного склона в сторону береговой или мористой переклиналией структуры. Следует отметить, что при росте антиклинали весь рыхлый материал, полученный при размыве, концентрировался в зоне поднятия.

Характерна эволюция баров, протекавшая по-разному в зависимости от первичных уклонов подводного склона. При больших уклонах на мористой переклиналией формировался подводный бар, который по ширине распространялся до вершины купола. По длине размеры аккумулятивной формы превышали диаметр структуры, и дистальные окончания бара располагались за пределами зоны поднятия, в области ненарушенного залегания пластов. В результате интенсивного проявления абразионных процессов свод структуры был совершенно уничтожен волнением и проявлялся в подводном рельефе. Единственным внешним признаком существования структуры на морском дне являлось наличие бара, местоположение которого определяло мористую переклиналию и частично свод структуры.

На пологом подводном склоне аккумулятивные формы образовывались на береговой переклиналией структуры и в связи с этим дистальные окончания баров отгибались к берегу и прилеплялись к нему, образуя лагуну. Следует отметить, что и в этом случае происходил интенсивный размыв свода антиклинали, который зависел от скорости поднятия. Чем быстрее происходило поднятие, тем большую площадь занимал бенч, а все аккумулятивные формы сдвигались ближе к берегу (рис. 2).

Анализ экспериментального материала показал, что мощность баров также зависит от скорости и высоты тектонического поднятия. Чем выше поднимался свод растущей структуры, тем более мощная аккумулятивная форма венчала антиклинальную складку.

При экспериментах с ростом структуры в средней части подводного склона и при постоянном уровне бассейна образования подводных баров не происходило. Аккумуляция наносов проявлялась не в образовании баров, а в виде асимметричной подводной возвышенности, смещавшейся в сторону берега. Следовательно, для образования подводных баров необходима некоторая критическая глубина, равная, по экспериментальным данным, не более одной четверти длины волны.

Обнаружение древних погребенных баров может оказать существенную помощь при палеогеографических построениях, в частности при определении глубины древних морских бассейнов и уточнении положения древних береговых линий. При существовании древних погребенных баров можно с уверенностью говорить о том, что глубина бассейна не превышала нескольких десятков метров. По ориентировке древних баров плане, а также по местоположению зон некоторого уменьшения мощностей и увеличения крутизны склонов можно провести древнюю береговую линию морского бассейна. При одновременном использовании фациальных данных в ряде случаев можно

определить среднюю высоту волн древних морских бассейнов из отношения $h/L=1/7$ или $h/L=1/4$.

Это возможно в случае точного определения древней береговой линии и глубины моря над вершиной погребенного бара. Умножив глубину моря на четыре (по экспериментальным данным, бары образуются на глубине, не превышающей четверти длины волны), получим примерную среднюю длину волн древнего морского бассейна. В то же время по ориентировке древнего бара в плане можно определить волновую равнодействующую и, следовательно, основное направление ветров в определенную геологическую эпоху.

Следует еще отметить, что бары являются геоморфологическими индикаторами при поисках погребенных тектонических структур. Рост антиклинальной складки обуславливает увеличение уклона дна, что благоприятствует возникновению резкого перегиба подводного склона, образование которого в дальнейшем обусловлено ростом самого бара. Отмеченная связь образования баров с растущими погребенными антиклиналями или куполами подтверждается большим количеством фактического материала. Например, на побережье Каспийского моря практически нет ни одной известной погребенной структуры, в пределах которой не был бы расположен современный или древний береговой бар (рис. 3).

В северной части Каспийского моря развиты структуры вала Карпинского, представляющего собой участок эпигерцинского обрамления Прикаспийской синеклизы Русской платформы. Осевая, Промысловско-Цубукская зона вала выходит к морю на крайнем юго-западном участке дельты Волги. Здесь, в зоне распространения новокаспийских отложений, локальное Вышкинское поднятие четко выражено в рельефе благодаря мощному береговому бару, окаймляющему его мористую периклираль. Серией подобных же аккумулятивных форм подчеркивается каспийское поднятие, входящее в Каспийско-Уланхольскую зону. Структурные зоны вала Карпинского продолжают и далее на восток - на дне Северного Каспия развиты серии песчано-ракушечных банок, которые представляют собой отражение погребенных структур в современном рельефе дна. На продолжении Промысловской зоны поднятий расположено несколько безымянных банок на взморье Волги. Каспийско-Уланхольская зона имеет своим продолжением: банки Чистую, Ракушечную, о. Малый Жемчужный, архипелаг Тюлений и Южнобузачинское поднятие. Прикумские погребенные поднятия образуют две антиклинальные зоны, открывающиеся к Каспию. На продолжении северной, Озексуатской зоны в море расположены банки Урал, Средняя Жемчужная и Кулалинская, а южной, Ачикулакско-Буденновской зоне соответствуют о. Тюлений, банки Тбилиси, Сигнал, Большая Жемчужная и Безымянная [Леонтьев, 1964]. Все названные банки и острова генетически являются барами, о чем свидетельствует не только состав материала, но и морфологические черты. Одновременно с этим, по данным гравиметрической съемки, каждой из названных банок или островов соответствует погребенное антиклинальное поднятие.

В рельефе Дагестанского и Азербайджанского побережья Каспия, входящего в зону мегаантиклинория Большого Кавказа, четко выделяются в рельефе несколько брахиантиклинальных складок, с которыми связаны серии современных или древних баров. Древние бары развиты в районах Махачкалинской, Ачисинской и Каякентской структур, а примером развития современных баров могут служить Избербашская складка и о. Песчаный на Апшероне, который со стороны моря ограничивает Зыхскую антиклиналь.

Очень четко выражены в рельефе древние бары, развитые в зоне глубокого Самурского прогиба, к которым относится, в частности, Тельский бар. Погребенная Тельская структура в настоящее время выражен в рельефе только серией крупных баров, развитых как на морской, так и на береговой ее периклиналях.

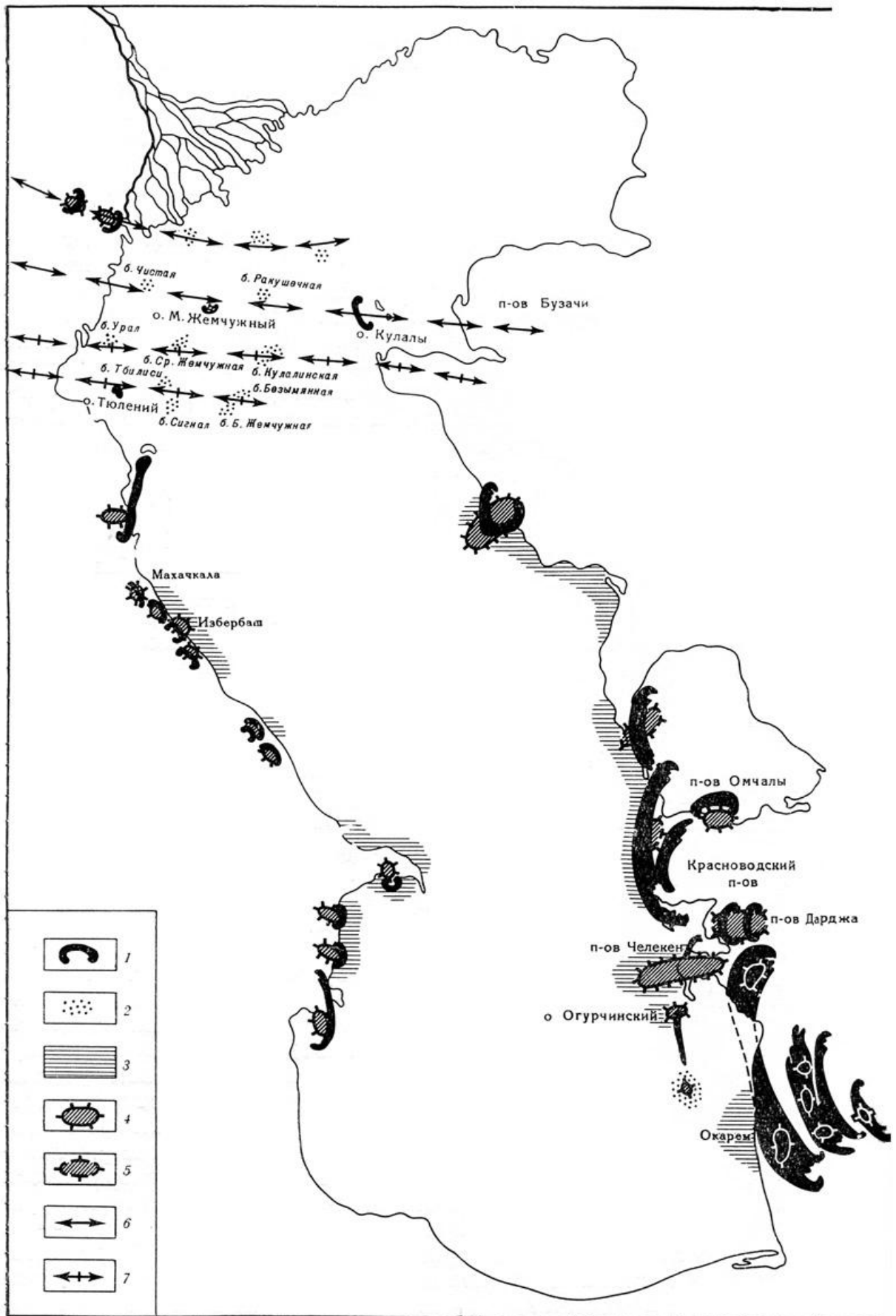


Рис. 3. Схема распространения береговых баров и бенчей на берегах Каспийского моря
 Условные обозначения: 1 — современные и древние береговые бары; 2 — современные подводные бары; 3 — бенчи; 4 — контуры тектонических структур; 5 — контуры предполагаемых тектонических структур; 6 — простираие структур вала Карпинского; 7 — простираие структур Прикумской зоны

Серия береговых баров наследует погребенные структуры юго-восточного погружения Большого Кавказа в районах мысов Алят, Бяндован и Пирсагат.

На восточном берегу Каспия в области погружения складок Прикопетдагской зоны также чрезвычайно широко развиты серии баров, венчающих своды погребенных структур. К последним относятся Кеймиро-Окаремская, Камышлджинская, Котур-Тепинская, Бугдайлинская, Дарджинская, Огурчинская и частично Челекенская. В этом районе бары, как правило, приурочены к береговым периклиналям структур.

Не менее широко развиты бары в зоне эпигерцинской платформы. В пределах Краснодарского полуострова в четвертичное время существовала большая аккумулятивная форма типа бара, наследовавшая Карабогазский свод. На южном берегу залива Кара-Богаз-Гол в бакинское время был образован бар, опоясывавший северную периклиналию Омчалинской структуры. На мысе Песчаном была сформирована серия унаследованных баров в районе свода Песчаномысского поднятия.

Таким образом, исходя из краткого обзора развития береговых баров на побережье Каспийского моря, можно констатировать, что, во-первых, приуроченность аккумулятивных форм к тектоническим структурам является закономерной, и, во-вторых, описываемые аккумулятивные формы встречаются во всех тектонических зонах. Аналогичная приуроченность береговых баров к погребенным поднятиям отмечена также на подводном склоне западного Крыма (Варущенко), в районе Большеземельской тундры (Кривулин), в Мексиканском заливе (Фиск) и т.д.

Рассматривая береговые бары с точки зрения нефтяной геологии, следует отметить, что по данным Этвилла [Atwill, 1942], Фиска [Fisk, 1961], Вебера [1966] и др., описываемые песчаные образования или сами содержат исходный для образования нефти органический материал, или непосредственно примыкают со стороны моря к содержащим этот материал более тонкозернистым лагунным осадкам. В последнем случае происходит вторичное обогащение песчаных тел подвижными компонентами органического вещества из смежных осадков. Яркими примерами нефтяных месторождений, связанных непосредственно с погребенными береговыми барами, являются районы дельты Миссисипи и «Коалинга» в южной Калифорнии.

Географический факультет
Московского гос. университета
им. М. В. Ломоносова

ЛИТЕРАТУРА

Вебер В.В. Фации отложений, благоприятные для образования нефти. Труды ВНИГНИ, вып. 56. М., 1966.

Егоров Е.Н. Наблюдения над динамикой подводных песчаных валов. Труды ИО АН СССР, т. 6. 1951.

Зенкович В.П. Динамика и морфология морских берегов. Волновые процессы. Ч. 1. Морской транспорт, 1946.

Ионин А.С. Некоторые особенности динамики и морфологии берегов Берингова моря. Тр. Океанографической комиссии АН СССР, т. 3. 1958.

Каплин А.П. О некоторых особенностях лагун северо-восточного побережья СССР. Тр. Океаногр. ком-та, т. 2. 1957.

Леонтьев О.К. Типы и образование лагун на современных морских берегах. Сб. XXI Межд. Геол. конгр. М., Изд-во АН СССР. 1960а.

Леонтьев О.К. Некоторые закономерности формирования лагунных побережий их геологическое значение. Изв. высш. учебн. завед., «Геология и разведка», 196 № 7.

Леонтьев О.К. Рельеф и геологическая структура дна Каспийского моря. Вестник МГУ. Сер. геогр., 1964, № 5.

Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г. Экспериментальные исследования взаимодействия эндогенных и морских экзогенных факторов на примере моделирования Ухтинского платформенного поднятия. «Природа», 1965а, № 10.

Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г. О причинах планетарного распространения береговых баров в связи с вопросом об их происхождении. Океанология, 1965б. №4.

Никифоров Л.Г. К вопросу об условиях образования береговых баров. Океанология, 1964, № 4.

Atwill E.R. Progress of Stratigraphic Studies in California // Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 26, No. 2, 1942.

Fisk H.N. Bar-Finger Sands of Mississippi Delta. Geometry of Sandstone Bodies (Symposium). Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1961.

Ссылка на статью:



***Никифоров Л.Г.* Геоморфологические критерии поиска погребенных структур на морских побережьях // Известия Академии наук СССР. Серия географическая. 1969. №3. С. 80-88.**