УДК 551.4:574 (268)

А.Г.ЗИНЧЕНКО
Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана, Санкт-Петербург, Россия

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОМОРФОЛОГИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА ЕВРАЗИИ

Рассмотрены основные положения экологической геоморфологии арктического шельфа Евразии и проанализирована системно-морфологическая методика изучения и картографирования рельефа дна. Такой подход обеспечивает прогноз основных «ловушек» донных осадков и загрязняющих веществ. Предлагаемая схема геоморфологического районирования шельфа Евразии учитывает принципиальные различия в геологическом строении его западного и восточного секторов, а также оценки геоэкологической позиции отдельных месторождений углеводородов.

The study considers some fundamentals of ecological geomorphology of Eurasian Arctic shelf and analyses the system-morphological methodology in investigation and mapping of sea-bottom relief. Such approach provides a forecasting of the main «traps» for bottom sediments and, subsequently, polluting substances. The elaborated scheme of the geomorphologic zoning of Eurasian shelf takes under consideration the principle distinction between geologic structures of its western and eastern sectors and contains an appraisal of geoecological positions of some sea oil and gas fields.

Экологическая геоморфология является новым активно развивающимся направлением геоморфологической науки. Она изучает взаимосвязи и результаты взаимодействия геоморфологических систем разного ранга с системой экологии человека, а в более общем виде – с системами жизни любых организмов и их сообществ [9]. Шельфы, наряду с реками, озерами и водохранилищами, также относятся к числу объектов эколого-геоморфологических исследований. Даже если они расположены в районах, не заселенных человеком, происходящие в их пределах процессы, как естественные, так и связанные с антропогенным вмешательством в природную среду, определяют состояние биоты и, как следствие, – здоровье и жизнеобеспечение людей не только на сопредельных территориях, но и в удаленных регионах [13].

Об экологическом состоянии природной среды шельфа принято судить по качественному и количественному составу бентоса, т.е. донных организмов. К основным факторам, определяющим условия его обитания, относятся глубина бассейна, распределение разных типов вод, гранулометрический состав донных отложений, поступление взвеси, содержание в ней и в придонных водах химических веществ, важных для развития бентоса. Все эти факторы прямо или опосредованно (через потоки осадочного вещества) зависят от особенностей строения морского дна, а именно – от его морфологии. Следовательно, одним из важнейших направлений эколого-геоморфологического изучения шельфа является определение устройства поверхности дна и его возможного влияния на динамику придонных сред, на распределение и концентрацию осадочного материала и химических веществ, в том числе загрязнителей. В настоящее время состояние бентосных сообществ в рассматриваемом регионе в целом оценивается как ненарушенное, за исключением нескольких локальных районов, испытывающих заметное антропогенное воздействие [2].

Рельеф арктического шельфа Евразии неоднороден и принципиально различается в западном (Норвежско-Баренцево-Карском) и восточном (Лаптевоморско-Чукотском) секторах. В первом значительные площади

дна лежат ниже глубины 200 м, достигая в окраинно-шельфовых желобах 400 м, и даже, как в желобе Святой Анны, превышая 700 м. Рельеф отличается здесь значительной расчлененностью, что выражается в чередовании крупных возвышенностей и разделяющих их впадин и желобов. Перепады глубины при этом измеряются сотнями метров. Склоны возвышенностей и впадин повсеместно изрезаны подводными долинами. Особенно контрастно расчлененность дна выражена по периферии Норвежско-Баренцево-Карского шельфа, для которой характерны сложно построенные окраинно-шельфовые поднятия дна, увенчанные архипелагами островов (Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Северная Земля). Эти поднятия разделены глубокими желобами с плоскими днищами и устьями, непосредственно выходящими на континентальный склон.

В восточном секторе, напротив, глубины на большей площади дна составляют менее 50 м, а перепады глубин, в основном, не превышают первых десятков метров. Характерны плоские пологонаклонные и субгоризонтальные равнины, изредка прорезаемые протяженными реликтовыми подводными долинами. Последние ориентированы, в основном, как магистральное продолжение современных речных систем прилегающей суши. Они сформировались при низких уровнях стояния морского бассейна в позднем плейстоцене, когда береговая линия располагалась существенно севернее своего современного положения. Поднятия дна на восточно-арктическом шельфе редки, а превышения их над окружающим дно пространством невелики. Самым мелководным и выровненным является шельф Восточно-Сибирского моря. Дно Чукотского моря не столь однородно. В его южной части на фоне сравнительно небольших глубин отмечается обширная впадина с плоским дном, вытянутая параллельно северному побережью Чукотки. Она соединяется с внешним шельфом через узкий желоб Геральда, расположенный к востоку от острова Врангеля. Глубины в этой впадине составляют чуть более 50 м, а в желобе Геральда превышают 80 м.

Для исследования мест обитания донных организмов, придонных потоков осадочного вещества, условий его депонирования и других характеристик среды, контролируемых рельефом дна, наиболее удобны аналитические геоморфологические карты, на которых рельеф представлен в виде совокупности образующих его граней – элементарных поверхностей, разделенных линиями перегиба земной поверхности нескольких видов. Современная системная модификация этого классического метода картографирования предложена профессором Санкт-Петербургского университета А.Н.Ласточкиным [3, 4].

Для выявления экологических функций рельефа важно, что при таком подходе используется фиксированный набор всех элементов земной поверхности: точечных, линейных и площадных, систематизированных с учетом их формы в профиле и на плане, а также относительного положения по вертикали. По последнему показателю все многообразие поверхностей разделено на четыре группы: верхних, склоновых, нижних и сквозных. Этим обеспечиваются перспективы морфолитодинамического истолкования каждого из выделенных на карте местоположений и разделяющих их границ. Такой метод дает возможность прослеживать нисходящие и восходящие потоки вещества во всей ландшафтной оболочке, заключенной в интервале между верхними и нижними поверхностями [7]. Субгоризонтальные (циркуляционные) потоки, ответственные за латеральный перенос, также контролируются рельефом, а именно теми его поверхностями, которые по отношению к этим потокам являются направляющими боковыми ограничениями или поперечными препятствиями. Примером циркуляционных потоков в западном секторе арктического шельфа Евразии могут служить течения, переносящие атлантические воды.

Таким образом, применяемый системно-морфологический, аналитический способ картографирования рельефа морского дна позволяет не только зафиксировать на карте морфологию донной поверхности, но и получить выводы о ее влиянии на результаты

взаимодействия природных сред, соприкасающихся на морском дне.

Такой подход был реализован во ВНИИОкеангеологии при создании Геоэкологического атласа Баренцева моря [5 и др.] (см. статью И.А.Андреевой и др. в настоящем сборнике). Геоморфологический анализ при этом осуществлен путем построения геоморфологической и морфолитодинамической карт, а синтез представлен на карте геоморфологического районирования. На первой из указанных карт зафиксированы все элементы, образующие поверхность дна. На второй, морфолитодинамической, карте проанализирована возможная роль этих элементов по отношению к нисходящим и циркуляционным потокам. Оконтурены обособленные области вероятного, с геоморфологических позиций, размыва и перемыва донных осадков – потенциальные местные источники поступления осадков и поллютантов. Также обособлены геоморфосистемы (ГМС), играющие роль литосборных бассейнов (замкнутых и незамкнутых для нисходящих литодинамических потоков). Замкнутые ГМС представляют особый интерес с точки зрения потенциального накопления загрязнений. Замкнутые нижние поверхности в ГМС данного типа являются конечными приемными пунктами.

Замкнутые литосборные бассейны распространены по площади шельфа Баренцева моря неравномерно и, в основном, сконцентрированы в его центральной части. Окраинно-шельфовые желоба – незамкнутые ГМС (и одновременно литосборные бассейны) играют двоякую роль в движении вод и литодинамических потоков. С одной стороны, эти желоба обеспечивают выход нисходящих придонных потоков с шельфа в прилегающие глубоководные бассейны, с другой, – способствуют проникновению на шельф из океана циркуляционных потоков и переносимого ими материала. В днищах желобов встречаются локальные замкнутые переуглубления, в основном неглубокие, зачастую заполненные илистыми осадками [10]. Они представляют собой вероятные «ловушки» загрязнений, поступающих с обоих направлений. Замкнутые отрицательные формы рельефа – ГМС разного порядка, содержащие конечные приемные пункты стока для нисходящих потоков, отнесены нами к геоморфологическим «ловушкам» первого рода. К «ловушкам» второго рода отнесены барьеры на пути циркуляционных потоков. Нередко ими служат подводные долины, поперечные по отношению к направлению циркуляционных потоков и улавливающие часть осадков. Возможно комбинирование двух типов «ловушек» в одной ГМС.

На третьей карте геоморфологического блока Геоэкологического атласа Баренцева моря – карте геоморфологического районирования – все многообразие элементов рельефа дна объединено в орографические формы по принципу выделения соответствующих ГМС. Ведущий критерий при этом – роль геоморфосистем по отношению к нисходящим и циркуляционным потокам. В свою очередь, орографические формы объединены в области, а области – в три провинции: приматериковую, внутри- и окраинно-шельфовую. Если первая и третья являются преимущественно транзитными для пелитовой фракции осадков, так как в их пределах отсутствуют региональные геоморфологические «ловушки» первого рода, то во внутришельфовой провинции «ловушки» этого типа развиты широко. Одной из самых крупных среди них является Центральная впадина, нередко называемая Центральной котловиной или желобом Самойлова. Что же касается геоморфологических условий концентрации и депонирования тонкодисперсных осадков и загрязняющих веществ в приматериковой и окраинно-шельфовой провинциях, то здесь они возможны лишь в геоморфологических «ловушках» второго рода или локальных (небольших по размерам) «ловушках» первого рода, а также в промежуточных временных депоцентрах, откуда впоследствии возможно возобновление миграции в направлении нижерасположенных ярусов осадконакопления.

Месторождения углеводородов в системе предлагаемого геоморфологического районирования Норвежско-Баренцевомор-

ского шельфа распределены неравномерно. Так, Штокмановское газоконденсатное месторождение располагается во внутришельфовой провинции, а именно – в самой глубокой части Центральной впадины. Здесь, по геоморфологическим условиям, возможно накопление загрязнений, связанных не только с эксплуатацией данного месторождения, но и тех, которые поступают извне: а) с нисходящими потоками с окружающих возвышенностей, б) с атлантическими водами, в том числе из удаленных районов. В этой связи необходимо отметить, что к настоящему времени доказана роль атлантических вод в загрязнении донной среды Баренцева моря, в частности, радионуклидами, перенесенными из промышленно развитых районов Западной Европы [13 и др.]. Ледовое и Лудловское месторождения, расположенные также в пределах литосборного бассейна Центральной впадины, занимают более высокое батиметрическое положение. Находясь на склонах небольшой по размерам возвышенности, они оказываются в зоне преимущественного транзита донных осадков. Такая позиция неблагоприятна для накопления загрязняющих веществ. Что касается месторождений углеводородного сырья на Печорском шельфе, то они расположены уже не во внутришельфовой, а в приматериковой провинции; их геоморфологическая позиция оптимальна для транзита и выноса из данной области осадков тонких фракций и ассоциирующих с ними загрязнений.

Рассматривая с данной точки зрения весь арктический шельф Евразии, можно сделать вывод о том, что в западном его секторе рельеф, ввиду переуглубленности и ячеистого строения, способствует развитию как нисходящих, так и циркуляционных литодинамических потоков. Здесь сконцентрированы многочисленные, в том числе и самые крупные на арктическом шельфе Евразии, геоморфологические «ловушки» осадочного вещества. В совокупности они образуют группу внутренних литосборных бассейнов. Здесь вероятно улавливание значительной части осадков и загрязняющих веществ, поступающих на шельф.

В восточном секторе преобладают условия для развития, главным образом, циркуляционных потоков, а геоморфологические «ловушки» относятся преимущественно ко второму роду. Лишь в Чукотском море существует крупная «ловушка» первого рода – Южно-Чукотская впадина, а на остальной площади возникновение больших по площади концентрированных скоплений загрязняющих веществ маловероятно.

Такие выводы первоначально были сделаны теоретически – при изучении рельефа дна на арктическом шельфе Евразии с позиций системно-морфологического подхода. В дальнейшем реальность предложенного сценария была доказана целым рядом исследований в Арктическом регионе. В частности, Д.С.Яшин [14], рассматривая региональные особенности голоценового седиментогенеза, подчеркивал роль замкнутых отрицательных морфоструктур в накоплении глинистых и алеврито-глинистых осадков. Он отмечал, что на изолированных возвышенностях дна преобладают процессы размыва и перемыва, с выносом тонких фракций. И.О.Мурдмаа и Е.В.Иванова [11] считают доказанным факт стекания нефелоидного слоя во впадины Баренцева моря по поверхности окружающих их склонов. А.П.Лисицын [8] подчеркивает влияние выявленной дренажной системы на развитие процессов каскадинга на западно-арктическом шельфе.

Работы ВНИИОкеангеологии на Штокмановской площади доказывают, что механическая дифференциация осадков в придонном слое контролируется устройством дна даже на уровне микрорельефа. В восточном секторе шельфа известны факты выноса тонких осадков с банок даже при сравнительно слабой расчлененности дна, а также зафиксировано улавливание тонкодисперсных осадков подводными долинами [1]. Комплексный учет геоморфологических факторов в совокупности со спецификой природных процессов в отдельных морях, а также литологическими характеристиками донных осадков и их сорбционными свойствами позволил провести геоэкологическое районирование арктического шельфа России

и сделать предложения по оптимизации сети мониторинга, направленного на выявление загрязнений донных осадков и бентосных организмов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическое строение и закономерности размещения полезных ископаемых. Т.9. Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1984. 280 с.

2. Геология и полезные ископаемые России. Т.5. Кн.1. Арктические моря / Всерос. науч.-исслед. геол. ин-т. СПб, 2004. 468 с.

3. *Зинченко А.Г.* Методика геоморфологического картографирования шельфа и континентального склона Российской Федерации (применительно к задачам Госгеолкарты-1000) / А.Г.Зинченко, А.Н.Ласточкин. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. 38 с.

4. *Зинченко А.Г.* Новая орографическая схема Арктического шельфа России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб, 2000. Вып.3. С.39-56.

5. Ландшафтно-геоэкологические исследования акватории Баренцева моря как основа для постановки долгосрочного мониторинга / И.А.Андреева, Б.Г.Ванштейн, А.Г.Зинченко, О.А.Кийко, В.И.Петрова // Концептуальные проблемы геоэкологического изучения шельфа / Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб, 2000. С.17-32.

6. *Ласточкин А.Н.* Системно-морфологическое основание наук о Земле. СПб: Изд-во СПбГУ, 2002. 762 с.

7. *Ласточкин А.Н.* Геоэкология ландшафта. СПб: Изд-во СПбГУ, 1995. 280 с.

8. *Лисицын А.П.* Нерешенные проблемы океанологии Арктики // Опыт системных океанологических исследований в Арктике. М.: Научный мир, 2001. С.31-73.

9. *Лихачева Э.А.* Экологическая геоморфология: Словарь-справочник / Э.А.Лихачева, Д.А.Тимофеев. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 240 с.

10. *Матишов Д.Г.* Радиационная экологическая океанология / Д.Г.Матишов, Г.Г.Матишов. Апатиты: Изд-во Центр. науч.-исслед. ин-та РАН, 2001. 417 с.

11. *Мурдмаа И.О.* Послеледниковая история осадконакопления в шельфовых впадинах Баренцева моря / И.О.Мурдмаа, Е.В.Иванова // Литология и полезные ископаемые. 1999. № 6. С.576-595.

12. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология) / Под ред. Э.А.Лихачевой, Д.А.Тимофеева. М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. 640 с.

13. Современные области аккумуляции осадочного вещества в Медвежинском желобе / Г.Г.Матишов, М.В.Митяев, В.Б.Хасанкаев, Г.А.Тарасов, В.А.Голубев // ДАН. 2002. Т.384. № 6. С.818-820.

14. *Яшин Д.С.* Голоценовый седиментогенез арктических морей России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / Всерос. науч.-исслед. ин-т геологии и минеральных ресурсов Мирового океана. СПб, 2000. Вып.3. С.57-67.