

УДК 551.465+551.46

Е. А. Кудрянь

***Топографические вихри как географические системы и связанные с ними аномалии океанологических характеристик<sup>5</sup>***

Таврическая академия (структурное подразделение)  
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени  
В. И. Вернадского», г. Симферополь  
e-mail: lka2@mail.ru

**Аннотация.** *Подводные горы Мирового океана являются причиной возникновения над их вершинами и склонами топографических вихрей. Топографические вихри представляют собой целостную географическую систему со всеми присущими ей признаками. Они являются одной из причин появления аномалий в распределении океанологических характеристик и биогенных элементов над районами подводных гор.*

**Ключевые слова:** *топографический вихрь, вихри Тейлора – Праудмана, подводная гора, аномалии океанологических характеристик.*

### **Введение**

Накопленный экспериментальный материал по районам подводных гор позволяет утверждать, что большая часть энергии мелкомасштабных и высокочастотных флуктуаций заключена в этих районах. А это значит, что одной из возможных причин пространственно-временной изменчивости как поверхностных, так и глубинных течений может быть их реакция на отдельные формы рельефа дна, в частности, на подводные горы.

Подводным горам своим появлением в природе обязаны так называемые топографические вихри – сложные динамические образования океана, одной из главных причин возникновения которых является рельеф дна Мирового океана (и, в частности, подводные горы) при участии разнообразных факторов: влияние атмосферы, внутренних волн, приливных течений, неустойчивости крупномасштабных потоков [1; 2].

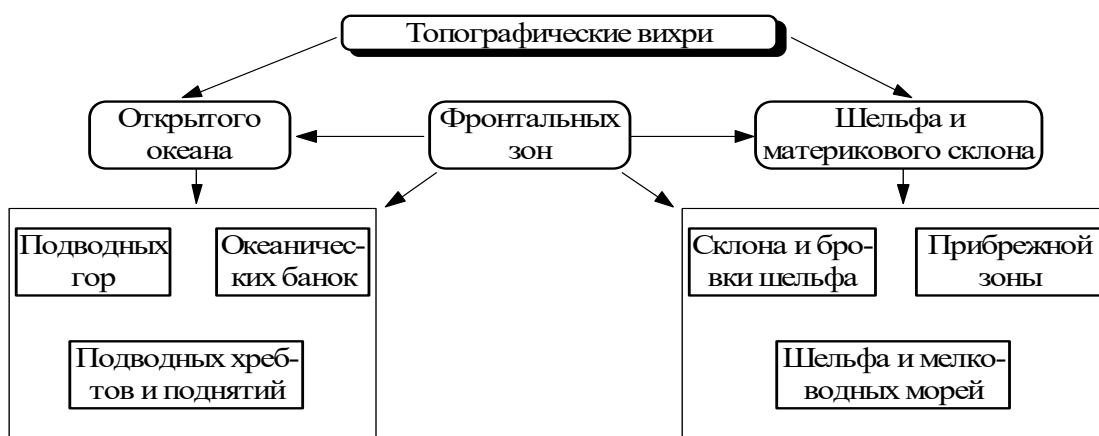
---

<sup>5</sup> Работа выполнена при поддержке Программы развития Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского» на 2015–2024 годы в рамках реализации академической мобильности по проекту ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского» «Сеть академической мобильности «ТИС-Ландшафт – Технологии и методики формирования геопорталов современных ландшафтов регионов», реализуемой в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Гихокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук» (г. Владивосток).

## Результаты и обсуждение

Топографические вихри разнообразны по генезису и масштабу и в географическом плане представляют собой целостную географическую систему со всеми присущими ей признаками.

В данной работе предлагается регионально-генетическая классификация топографических вихрей, которая позволяет, на мой взгляд, разобраться в значительном их разнообразии (рис. 1). Предложенная схема показывает, что среди топографических вихрей открытого океана можно различать вихри подводных гор, океанских банок и подводных хребтов. Они имеют широкий диапазон пространственных масштабов. Важной особенностью этих вихрей является квазипериодичность возникновения и пульсации океанологических характеристик с периодом 3–30 суток.



**Рис. 1.** Регионально-генетическая классификация топографических вихрей Мирового океана.

Отличительной особенностью топографических вихрей шельфа и материкового склона является приуроченность их к районам квазистационарных подъемов вод. На динамику вихреобразования преимущественное влияние оказывает сезонная изменчивость океанологических полей и, кроме того, сгонно-нагонные явления и волновые процессы на мелководье.

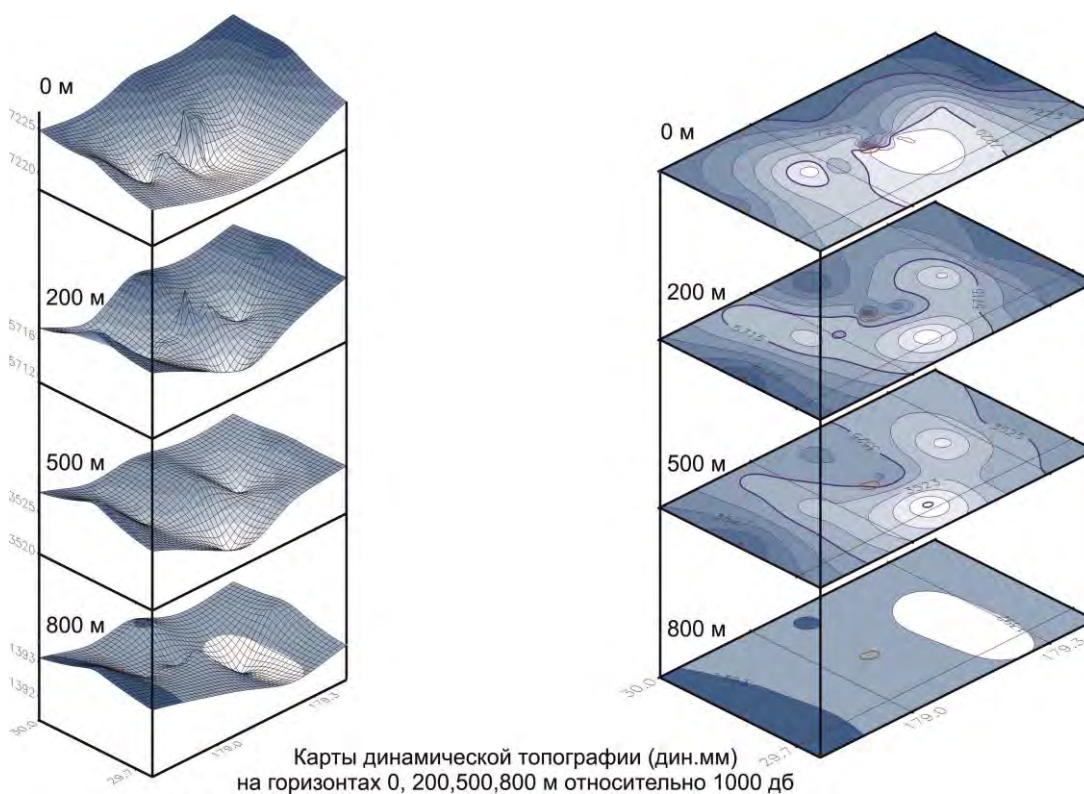
Топографические вихри фронтальных зон могут встречаться как в открытом океане, так и в зонах шельфа и материкового склона. Они характеризуются сложным взаимодействием водных масс с рельефом дна.

Образование топографических вихрей различного знака с широким спектром пространственно-временных масштабов приводит к аномальному характеру течений в районе подводных гор [3].

На основании анализа количественных данных, полученных научно-исследовательскими судами Тихоокеанского института рыбного хозяйства и океанологии (ТИНРО) в 1971–1982 годы, и при помощи компьютерных программ «Гидролог» и «Surfer» было отмечено, что топографические вихри – достаточно распространенное природное явление для этих районов: из проанализированной 51

гидрологической съемки вихри в районах подводных гор не наблюдались только на 3 из них. Причем помимо одиночных вихрей, вращающихся над вершиной горы или над одним из ее склонов, у изолированных подводных гор отмечалось образование и двух сопряженных вихрей разного знака, которые чаще всего располагаются над противоположными склонами горы. Кроме того, как показывает анализ построенных карт по данным фоновых и микросъемок, в природе возможно формирование и трех вихрей вокруг вершины, которая служит общим центром вихревой системы, или же снесенных основным потоком на «подветренный» склон подводной горы. Интересной особенностью топографического вихреобразования является квазишахматная упаковка четырех геострофических вихрей вокруг вершин подводных пиков. А при двухвершинной морфологической структуре подводных гор наблюдалось даже шесть и более вихрей [4; 5].

Вертикальное развитие топографических вихрей колеблется в широком диапазоне глубин – от поверхности океана до последнего горизонта наблюдений (1000 м) (рис. 2).



**Рис. 2.** Пример вертикального развития топографического вихря до глубины 1000 м в районе подводных гор Гавайского хребта (съемка выполнена в сентябре 1971 года НИС «Радуга»).

Топографические вихри взаимодействуют между собой, с препятствиями (в частности, с подводными горами), являющимися, как уже отмечалось, причиной их возникновения, и со средним квазистационарным течением, в потоке которого они могут уноситься после отрыва от вершины горы.

Турбулентное вихреобразование в районах подводных гор характеризуется непрерывной иерархией геострофических вихрей от масштабов, соизмеримых с пиками подводных гор, до масштабов синоптических вихрей. Мелкомасштабные вихревые системы, генерируемые над подводными горами, имеют периодичность от 2 до 3–8 суток, более крупные вихри могут существовать около месяца [6].

Анализ карт динамической топографии по данным 51 гидрологической съемки дал возможность заключить, что для районов подводных гор открытого океана характерными являются следующие типы вихрей: одиночные (циклонические или антициклонические) вихри; двумерные квазицилиндрические вихри Тейлора; пакеты вихрей; цепочка Кармана.

Первый тип – одиночный вихрь – может формироваться как над вершиной, так и над склонами подводной горы и иметь диаметр от первых десятков до нескольких сотен километров. С учетом имеющихся данных, над подводными горами образуются в равной степени вихри как антициклонического, так и циклонического вращения.

Ко второму типу можно отнести разнообразные формы вихря или столба Тейлора – Праудмана. Они формируются над вершинами изолированных подводных гор при определенных природных условиях, и одним из них является относительная однородность водной среды.

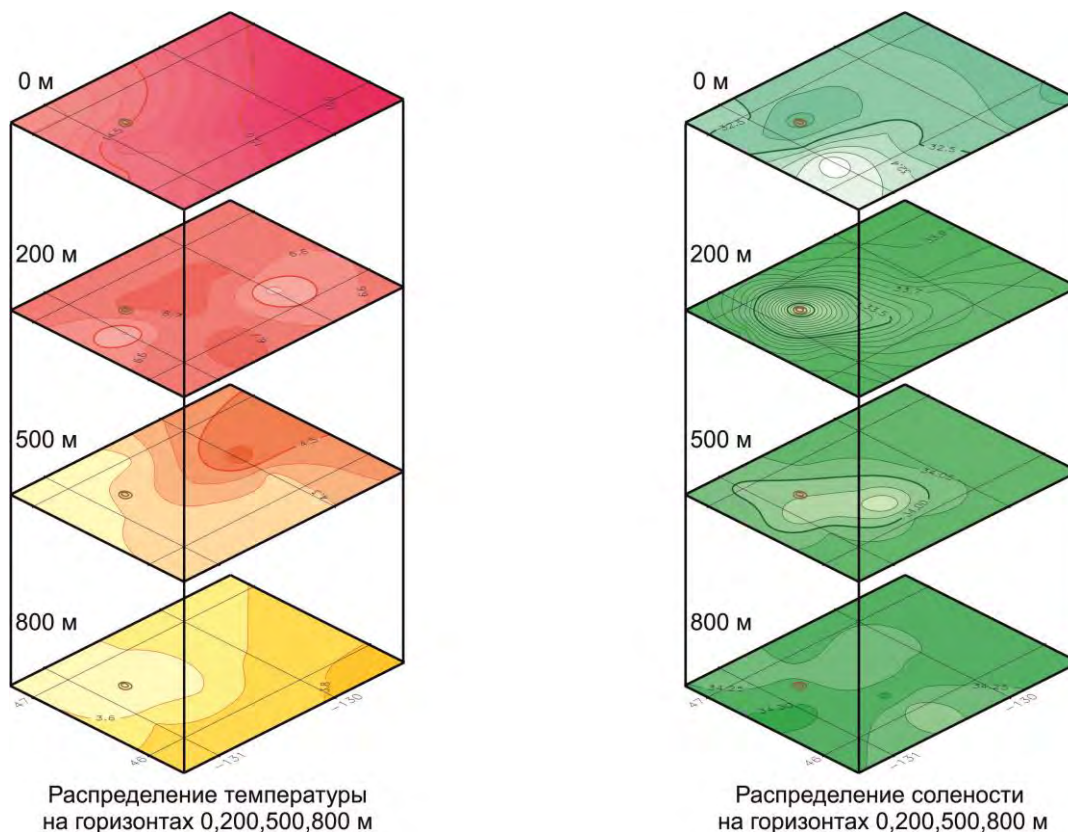
Третий тип топографический вихрей – пакеты вихрей – чаще всего имеют небольшие размеры и локализуются над склонами подводной горы. Одновременно в районе подводной горы может существовать от двух до шести и более вихрей. Знаки вращения вихрей, как правило, чередуются. Характерны значительные колебания значений геострофических скоростей, причем не только по горизонтали, но и по вертикали.

Четвертый тип – цепочка Кармана – представляет собой цепи смежных вихрей противоположного знака, расположенных на разных расстояниях друг от друга симметрично осевой линии. Наблюдаются они при огибании подводной горы набегающим потоком. Обычно не отличаются большими размерами и мощностью.

Генерация вихрей над подводными горами приводит к интенсивному вертикальному и горизонтальному обмену вод, а в результате и к нарушению структуры океанологических и гидрохимических полей, которая выражается в существенном ее отличии от гидрологической структуры окружающей акватории. Колебания значений гидрологических элементов в районах подводных гор имеют широкие пределы и, как показывает анализ построенных карт и разрезов, могут достигать значительных величин. Причем наиболее ярко такое нарушение проявляется в распределении растворенного кислорода и биогенных элементов, чем температуры и солености.

Чаще всего аномальное распределение океанологических характеристик отчетливо наблюдается до глубины 500–600 м, иногда до 800 м (рис. 3). Их характерная особенность – значительные изменения абсолютных величин над вершинами подводных гор. Но необходимо отметить, что аномальность гидрологической структуры может проявляться не только в количественном аспекте, охватывая не все гидрологические элементы, проявляясь только в аномалиях динамических параметров (скорости течения, в усилении вертикальных движений) и в усилении пространственной дифференциации в

районе подводной горы. Усложнение пространственной дифференциации выражается в образовании замкнутых неоднородностей в полях гидрологических элементов, чередовании небольших по величине, но отличающихся по направленности вертикальных движений, неоднородностей гидрологических полей.



**Рис. 3.** Аномальное распределение температуры и солености над вершиной подводной горы Кобб (съемка выполнена НИС «Профессор Дерюгин» в августе 1976 года).

Какая вертикальная гидрологическая структура районов подводных гор Мирового океана, следует отметить, что для этих районов характерны те же элементы вертикальной структуры, что и для открытого океана: верхний квазиоднородный слой, сезонный и основной термоклин, пикно- и галоклин и т. д. Аномальность проявляется в выпадении отдельных элементов вертикальной структуры в связи с малой глубиной над вершиной подводной горы. Так, при выходе вершины горы в верхний 50–200 метровый слой сезонный, термо- и пикноклины могут исчезать в результате образования столбообразных областей нейтральной стратификации, то есть столбов Тейлора. Столбы Тейлора могут возникать при любой глубине над вершиной подводной горы. Однако в этом случае столбообразная аномальная область распределения гидрофизических

параметров может не достигать деятельного слоя и не нарушать его вертикальную структуру [2].

В зависимости от величины и особенностей возмущающего эффекта в районе подводной горы могут формироваться три типа вертикальной структуры распределения океанологических параметров: 1) невозмущенный; 2) возмущенный, с сохранением всех элементов структуры, но с изменением глубины; 3) трансформированный, характеризующийся выпадением отдельных элементов вертикальной структуры и образованием столбообразных структур в гидрофизических полях над вершиной подводной горы (столбов Тейлора).

В первом случае характер вертикального распределения основных гидрологических элементов по сравнению с окружающей акваторией практически не изменяется.

Второй тип вертикальной гидрологической структуры в районах подводных гор характеризуется волнообразным вертикальным смещением слоев, достигающим нескольких сотен метров относительно окружающей акватории. В этом случае все элементы вертикальной структуры сохраняются – изменяется лишь глубина их залегания.

Наиболее яркой чертой третьего типа вертикальной структуры является наличие над вершиной подводной горы столба Тейлора, область которого характеризуется отсутствием вертикальных, но появлением больших горизонтальных градиентов океанологических параметров. С учетом физических механизмов формирования столбы Тейлора более четко выделяются по вертикальному распределению квазиконсервативных элементов: солености, фосфора, кремния.

Важнейшей чертой горизонтальной гидрологической структуры районов подводных гор является наличие замкнутых областей, выделяемых по кольцеобразному распределению различных океанологических параметров (температуры, солености, гидрохимических и биологических характеристик). Эти неоднородности, как правило, приурочены к вихрям различного знака. Они характеризуются широким спектром пространственно-временных масштабов (от десятков до сотен километров). Приуроченность к вихрям различного знака также обуславливает и различный знак замкнутых аномалий океанологических параметров. Причем вертикальное развитие замкнутых неоднородностей горизонтальной структуры может отмечаться как в отдельных слоях, так и во всей толще вод над подводной горой и ее склонами.

Особенности горизонтальной гидрологической структуры четко увязаны и взаимообусловлены вертикальным распределением гидрологических параметров. Так, при первом типе вертикальной структуры океанологических параметров, то есть при отсутствии возмущающего эффекта подводной горы, области замкнутых аномалий горизонтального распределения также отсутствуют.

При втором типе вертикальной структуры может наблюдаться либо одна замкнутая аномалия гидрологических элементов, захватывающая всю акваторию, либо несколько локальных областей, приуроченных к топовихрям различного знака. Наиболее четко аномальное кольцеобразное распределение гидрологических элементов выражено в распределении таких характеристик, как соленость, фосфор, кислород и, как правило, соответствуют динамической структуре района.

При образовании столбов Тейлора, то есть при третьем типе вертикальной структуры океанологических параметров, горизонтальная структура характеризуется наличием во всем слое вод над банкой чаще всего двух замкнутых областей, связанных с антициклоническим (топографическим) вихрем и циклоническим вихрем-сателлитом, вращающимся вокруг него.

### **Выводы**

Районам подводных гор присущи формирования вихревых систем – топографических вихрей, которые представляют собой сложные географические системы с присущими им признаками. Было установлено, что топографические вихри являются причиной формирования аномальных полей основных океанологических характеристик, а также биогенных элементов, причем такие аномалии могут проникать на значительные глубины.

### *Литература*

1. Дарницкий В. Б. Бароклинные и баротропные топографические вихри в океане/ Труды ДВНИИ, 1980. №86. С. 51–62.
2. Зырянов В. Н. Особенности морских течений в районах подводных гор и изолированных поднятий дна океана. Вихри Тейлора/ В кн.: Условия среды и биопродуктивность моря. – М.: ВНИРО, 1982. С. 98–109.
3. Зырянов В. Н. Топографические вихри в динамике морских течений. – М.: ИВП РАН, 1995. 239 с.
4. Безруков Ю. Ф., Кудрянь Е. А. Гидролого-биологические комплексы подводных гор Мирового океана// Ученые записки Симферопольского государственного университета, 1997. Т. 3(42). Серия Экономика. География. История. Филология. С. 61–67.
5. Безруков Ю. Ф., Кудрянь Е. А. Особенности океанологических условий в районах подводных гор Тихого океана// Морской гидрофизический журнал, 1999. № 3. С. 62–69.
6. Дарницкий В. Б. Бароклинные возмущения синоптического масштаба, индуцируемые в районах подводных гор Тихого океана// 14-й Тихоокеанский научный конгресс, комитет F, секция физическая океанология. – Хабаровск, 1979. С.88–89.

**E.A. Kudrian**

### ***Topographical eddies as geographical systems and anomalies of oceanological descriptions related to them***

---

Tavrada academy (structural subdivision) Crimean Federal  
V.I.Vernadsky University, Simferopol  
e-mail: lka2@mail.ru

**Abstract.** *The underwater mountains of the World Ocean are the cause of the appearance of topographic eddies over their peaks and slopes. Topographic eddies*

*represent an integral geographic system with all its inherent characteristics. They are one of the reasons for the appearance of anomalies in the distribution of oceanographic characteristics and biogenic elements over the areas of the underwater mountain.*

**Keywords:** *topographic eddies, Taylor-Proudman eddies, underwater mountain, anomalies of oceanological characteristics.*

### **References**

1. Darnitskiy V.B. Baroklinnyie i barotropnyie topograficheskie vihri v okeane/ Trudyi DVNII. 1980. #86. S.51-62.
2. Zyryanov V.N. Osobennosti morskikh techeniy v rayonah podvodnyih gor i izolirovannyih podnyatyi dna okeana. Vihri Teylora/ V kn.: Usloviya sredyi i bioproduktivnost morya. – M.: VNIRO. 1982. S. 98-109.
3. Zyryanov V.N. Topograficheskie vihri v dinamike morskikh techeniy. – M.: IVP RAN. 1995. 239 s.
4. Bezrukov Yu.F., Kudryan E.A. Hidrologo-biologicheskie kompleksyi podvodnyih gor Mirovogo okeana// Uchenyie zapiski Simferopolskogo gosudarstvennogo universiteta. 1997. T. 3(42). Seriya Ekonomika. Geografiya. Istoriya. Filologiya. S. 61-67.
5. Bezrukov Yu.F., Kudryan E.A. Osobennosti okeanologicheskikh usloviy v rayonah podvodnyih gor Tihogo okeana// Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal. 1999. # 3. S. 62-69.
6. Darnitskiy V.B. Baroklinnyie vozmuscheniya sinopticheskogo masshtaba, indutsiruemyie v rayonah podvodnyih gor Tihogo okeana// 14-y Tihookeanskiy nauchniy kongress, komitet F, sektsiya fizicheskaya okeanologiya. – Habarovsk. 1979. S.88-89.

*Поступила в редакцию 25.11.2017 г.*