

## Аномальные волны – реальность!

А.В. КИСТОВИЧ,  
доктор физико-математических наук  
К.В. ПОКАЗЕЕВ,  
доктор физико-математических наук  
МГУ им. М.В. Ломоносова



**В статье приведен обзор сообщений о наблюдении и измерении аномальных волн в океане. Авторы проанализировали физические модели образования аномальных волн.**



### ЧТО ТАКОЕ АНОМАЛЬНЫЕ ВОЛНЫ

На протяжении длительного времени аномальные волны считались редко встречающимися, их называют блуждающими или волнами-убийцами. Это смертельная угроза даже для самых современных кораблей: поверхность, на которую обрушивается гигантская волна, испытывает давление до  $100 \text{ т/м}^2$ .

20

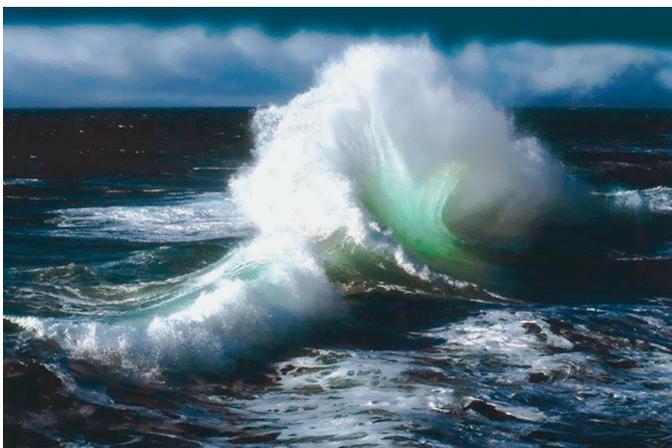
Области морских течений считаются наиболее вероятными зонами образования аномальных волн. Такие волны могут быть как в форме гребней, так и впадин, что подтверждают очевидцы. Дальнейшее исследование требует учета эффектов нелинейности в ветровых волнах, способных приводить к образованию небольших групп волн (пакетов) или

отдельных волн (солитонов), распространяющихся на большие расстояния без значительного изменения своей структуры. Характерными особенностями таких групп волн считается то, что они движутся независимо от волнения моря и имеют небольшую протяженность волнового фронта (менее 1 км), причем высоты резко спада-

ют по краям волнового фронта.

При описании этих необычных волн очевидцы говорят или о “стене воды”, или о “дыре в море”, или о нескольких крупных волнах. В океанологии под аномальной волной (АВ) понимается большой, иногда гигантский гребень, сопровождаемый неглубокой впадиной. Но более удивительно, что огромные волны зачастую возникают внезапно. По мнению большей части исследователей, АВ формируются из ветровых волн или зыби, их характерные масштабы (длина, период) приходится на диапазон длин и периодов ветровых волн.

Инструментальные измерения, выполненные на морских платформах и буйах в разных акваториях Мирового океана в последние годы, и спутниковые измерения перевели АВ из разряда фольклора в реальность. При этом замечено, что они бывают не только в шторм, но и при любой погоде, даже при спокойной воде в глубине и на мелководье. Они проявляются также на берегу в форме внезапных мощных заплесков на крутой склон или когда быстро затопливается пляж. Использование космических аппаратов для регистрации АВ



позволяет резко увеличить объем информации и объективно оценить их географическое распределение. Существование АВ после анализа многочисленных натурных данных можно считать доказанным. Полученные сведения показывают более частую распространённость этого явления, чем предполагалось.

Изучение АВ принципиально важно для ко-

раблестроения и морской гидротехники, занимающейся проектированием портовых сооружений и платформ на морских шельфах. Конечная цель исследований – разработка методов прогноза подобных явлений. Эта задача включает в себя анализ статистики (частоты встречаемости) волн-убийц на основе длинных рядов наблюдений, которые постепенно



*Морской корабль, атакованный мощной волной.*

накапливаются для различных акваторий Мирового океана. Необходимо провести районирование акватории Мирового океана по степени риска, выявить условия, предшествующие возникновению аномальных волн.

Существует несколько различных определений необычной волны. Одно из них основано на случайности ветрового волнения, в котором распределение значений волновых параметров (в данном случае высот волн) описывается функцией плотности вероятности и всегда возможны большие (экстремаль-

ные) значения волновых параметров. Аномальные волны могут рассматриваться как значения типичных функций распределения высот ветрового волнения в области малой вероятности. Зная функцию плотности вероятности высот ветровых волн, можно рассчитать, например, высоты волн, возможные раз в 10 или 50 лет, поэтому их называют экстремальными. Под аномальными понимают такие, статистика которых не удовлетворяет значениям типичных функций распределения ветровых волн, в частности рэлеевскому распре-

делению. Оно наиболее часто используется для описания статистических характеристик ветрового волнения.

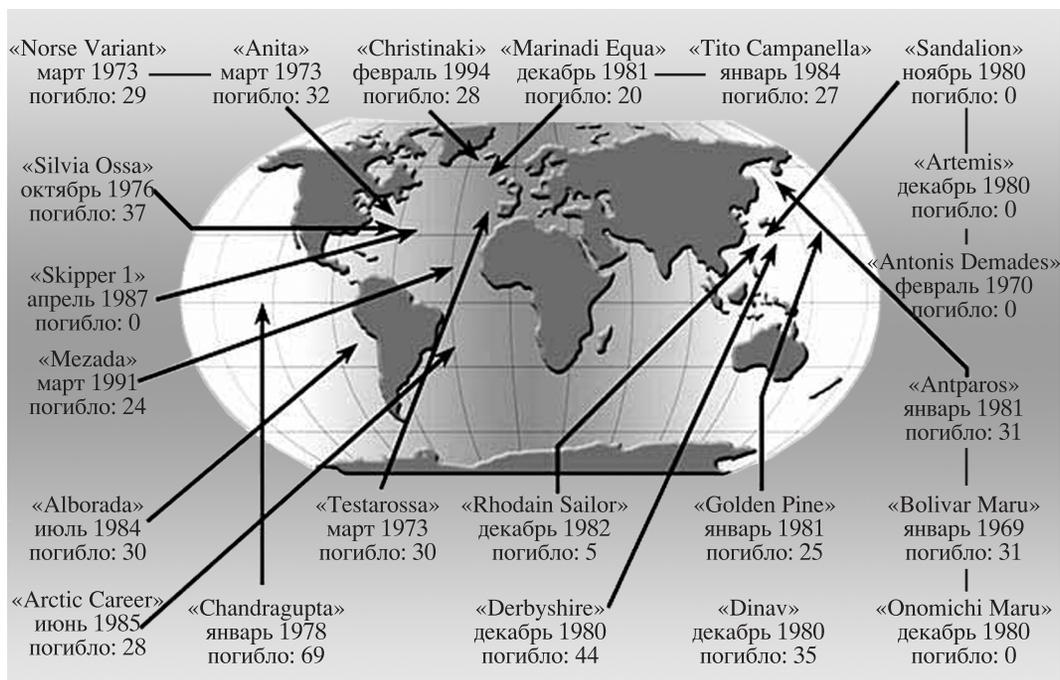
Другие определения предлагают считать аномальной такую волну, которая отличается большой амплитудой, несимметричностью, крутизной (отношение высоты волны к ее длине) и сопровождается впадиной. Это определение сформировалось под влиянием многих описаний АВ, но позже выяснилось, что перечисленные признаки не всегда главные даже при катастрофических последствиях. В океанологии закрепился только амплитудный критерий волны-убийцы ( $H_a$ ): она должна превышать значительную высоту ветровых волн ( $H_S$ ) в 2–2,2 раза. Под значительной понимается средняя высота трети наиболее высоких волн.



#### ИСТОРИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

Приведем наиболее яркие, на наш взгляд, описания встреч с АВ.

*Небольшое судно накрыло аномальной волной.*



*Карта мира, на которой указаны места, где аномальные волны, обрушившиеся на супертанкеры в 1968–1994 гг., привели к трагическим последствиям.*

Возможно, самым первым официальным сообщением о них был доклад 1840 г. выдающегося мореплавателя и исследователя Ж.С. Дюмон-Дюрвиля во Французской академии наук о наблюдении им в 1826 г. в Южных морях одиночной волны высотой больше 30 м. Докладчика осмеяли, несмотря на то что три человека подтвердили правдивость его слов.

7 февраля 1933 г. в северной части Тихого океана танкер «Рамапо» попал в систему периодических гигантских волн, вызванных мощным штормом. Во время этого шторма ветровое воздействие охватило огромную территорию (несколько тысяч миль в поперечнике) и продолжалось нескольких дней. Скорость ветра достигала 60–66 узлов (111–122 км/ч). Танкер развернули кормой к ветру, это позволило оценить длину волн в 300–450 м, набегающих с периодом 14,8 с. Члены команды смогли измерить с капитанского мостика ее высоту – около 34 м (!).

В 1956 г. капитан Грант, командовавший грузовым судном «Юниор», в 100 милях от мыса

Гаттерас встретился с 30-м волной.

В 1963 г. кадет французского военно-морского флота Фредерик-Моро во время кругосветного плавания крейсера «Жанна д'Арк» попал в семибальный шторм юго-западнее Токио и оказался свидетелем явления, названного «Три сестры». В течение 30 с корабль оказался под последовательным воздействием трех АВ высотой 15–20 м и шириной 800 м, движущихся со скоростью не менее 10 м/с. Их отличала высокая крутизна гребня (почти вертикального), спадавшая на края фронта волны.

По сообщению капитана Байлса, его грузовое судно «Замок Эдинбург» в 1964 г. попало в «дыру в океане», наклон ее стен



*Морское судно, носовую часть которого повредила аномальная волна.*

к горизонту был не менее  $30^\circ$ . Это заставило поверить в правдивость слов капитана Джонсона, утверждавшего, что во время Второй мировой войны его крейсер “Бирмингем” провалился в такую же воронку.

В 1966 г. итальянский круизный лайнер “Микеланджело” попал под удар гигантской волны, тоже

в форме воронки в океане. Она разбила иллюминаторы, находящиеся на 24 м выше ватерлинии, убила одного члена экипажа и двух пассажиров.

В 1968 г. супертанкер “Слава мира” затонул в течении Агульяс, разорванный пополам одиночной неожиданно возникшей волной. В том же году советские стереока-

меры в районе Антарктики зафиксировали волны высотой 25 м.

В 1969 г. в Мексиканском заливе глубиной 100–350 м регистрировали АВ высотой 20–23 м, а отношение  $H_\alpha/H_\beta$  равнялось 2,3. В сентябре 2004 г. там же зафиксирована 27-м волна, когда бушевал ураган “Иван”.

В 1969–1971 гг. в Северной Атлантике неоднократно регистрировались волны высотой 15–22 м. 16 апреля 2005 г. круизное судно “Норвежская заря” вблизи берегов штата Джорджия столкнулось с волной, захлестнувшей его до десятой палубы. Она появилась внезапно, по сути дела ниоткуда, и также внезапно исчезла. В январе 2006 г. корабль “Норвежская душа” был задет 15-м волной у побережья острова Тортола из группы Вирджинских островов в Северной Атлантике.

В 1974 г. у побережья Южной Африки огромная волна сильно повре-



*На танкер “Эссо Лангедок” накатилась гигантская волна. 1980 г. Фото Ф. Лижура.*



*Круизный корабль “Бремен” накрывает волна-убийца высотой 30 м в Южной Атлантике. Март 2001 г.*

дила норвежский танкер “Уильстар”, полностью разрушив его носовую часть.

В ноябре 1975 г. в озере Верхнем (Канада) из системы Великих американских озер судно “Андерсон” подверглось воздействию двух АВ. Моряки “Андерсона” не пострадали, а вот судьба экипажа находившегося неподалеку грузовоза “Эдмунд Фитцджеральд” оказалась трагичной – все погибли.

В 1980 г. недалеко от Дурбана Ф. Лижур сделал редкую фотографию гигантской 30-м волны,

накатившейся на танкер “Эссо Лангедок”, на котором он находился.

В 1981 г. в Северном море была зафиксирована почти симметричная одиночная волна высотой около 15 м, тогда как окружающие ее волны не превышали 8 м. Как показывает статистика, в этом регионе в 1969–1985 гг. отмечены 20-м волны (отношение  $H_{\alpha}/H_S - 2,1-2,7$ ). 1 января 1995 г. там же нефтяная платформа Драпнера подверглась воздействию 26-м волны, названной “Новогодней”.

В феврале 2000 г. к западу от побережья Шотландии океанографическое судно выдержало встречу с 29-м волной и измерило ее характеристики.

В марте 2001 г. в Южной Атлантике были

серьезно повреждены 30-м волной и оказались на грани гибели круизные корабли “Бремен” и “Звезда Каледонии”. Отметим, что в этой части Атлантики нет никаких течений! В марте 2007 г. круизное судно “Принсендам” испытало удар 21-м волны у оконечности Южной Америки.

Не только на открытых океанских просторах, но и во внутренних морях наблюдаются гигантские волны. Например, запись с буя получена 22 ноября 2001 г. в районе Геленджика на Черном море. При глубине 85 м высота волны составила около 10 м, однако отношение  $H_{\alpha}/H_S$  достигло рекордной величины – 4–5. В этом же районе 1 февраля 2003 г. зарегистрирована волна 12,3-м. Вероятность их появления



*Паром "Риверданс", выброшенный на берег в результате столкновения с аномальными волнами. 5 февраля 2008 г.*

согласно рэлеевскому распределению – один раз в 50 лет.

5 февраля 2008 г. в Ирландском море паром "Риверданс" был выброшен на побережье Ланкашира после столкновения с АВ.

Это далеко не все свидетельства опасных встреч судов с АВ. По данным компании "Пентов", занимающейся страхованием морских перевозок, только в 1981–1991 гг. 29 судовладельцев обратились за возмещением ущерба, понесенного в результате столкновения их кораблей с АВ. В 1969–1994 гг. в Тихом и Атлантическом океанах выведены из строя или погибли 22 супертанкера.

С каждым годом частота подобных свидетельств только возрастает, но они отрывочны и субъективны. Ученые предложили программу "MaxWave" (максимальная волна) под эгидой ESA для измерения пара-

метров волн с помощью радаров, установленных на спутниках дистанционного зондирования. Наблюдения с орбиты выявили ошеломляющие факты: за трехнедельный период зафиксированы 10 волн высотой более 25 м. Это позволяет пересмотреть подход к АВ как к чему-то из ряда вон выходящему и признать их неотъемлемой частью отличительных особенностей моря.

#### МОДЕЛИ ОБРАЗОВАНИЯ АНОМАЛЬНЫХ ВОЛН

В настоящее время исследование АВ идет по трем основным направлениям: визуальные наблюдения, теоретическое и лабораторное моделирование. Очевидно, что они должны обладать большой энергией. Главный вопрос, на который стремятся ответить исследователи: каким образом происходит фокусировка энергии в сравнительно небольшом простран-

стве с последующим ее переносом? Подавляющее большинство ученых считают наиболее вероятным способом генерации АВ фокусировку энергии. Обычно выделяют следующие типы фокусировки энергии: за счет дисперсионного сжатия волновых пакетов, течения, топографии дна, неустойчивости Бенджамина – Фейра (неустойчивость на боковых частотах), нелинейного взаимодействия волн, а также в штормовых зонах. Иногда выделяют генерацию АВ при внезапном опускании части морского дна.

Идея фокусировки энергии за счет дисперсионного сжатия базируется на линейной модели поверхностных волн. Эволюция во времени некоторого возмущения поверхности исследуется на основании Фурье-разложения.

Может возникнуть ситуация, когда волны с большими скоростями будут догонять волны с меньшими скоростями, в результате произойдет их сложение. По прошествии времени фазовые сдвиги между спектральными компонентами изменяются, следовательно, поверхностная волна тоже меняет свою фор-

му. Чтобы сформировалась АВ, необходимы определенные соотношения между скоростями и направлениями распространения складывающихся волн. В случае одномерных волн подобную ситуацию можно описать, а вот в случае двумерных волн объяснить довольно сложно, если вообще возможно. Расчет даже для одномерных волн показывает, что она при фокусировке за счет дисперсионного сжатия не сможет существенно увеличить свою крутизну, то есть не преобразуется в АВ. Таким образом, либо аномальная волна должна быть пологой, либо линейная теория не способна объяснить это явление.

Кроме того, этот механизм практически не пригоден для реального волнения, поскольку сложение разнонаправленных волн с разными по направлению векторами не может быть синхронизовано.

С другой стороны, идея дисперсионного сжатия выглядит довольно реалистично для одномерных систем, и эксперименты по созданию АВ, проведенные в длинном узком бассейне, подтверждают это. Только необходимо учесть: волны, сгенерированные при выполнении данных опытов, нельзя назвать инфинитезимальными, или малыми, так что наличие нелинейное сжатие волны.

Откуда появилась идея математического описания АВ в виде суммы отдельных ничем не выдающихся гармонических колебаний? Все дело в том, что натурные исследования АВ позволяют воссоздать данное событие. Известно, что образование АВ возможно вследствие сложения независимых гармонических колебаний, плотность вероятности огибающей которых определяется рэлеевским распределением. Оценки частоты возникновения АВ дают крайне малую вероятность наблюдения такого события за год. В то же время спутниковые снимки прямо указывают на то, что АВ большой амплитуды наблюдаются на поверхности Мирового океана в среднем один раз за двое суток.

Метод фокусировки за счет течения при образовании АВ наиболее наглядный, поэтому остановимся на нем более подробно. Согласно установленному факту, АВ с определенной регулярностью формируются в регионах с океаническими потоками: Агульяс недалеко от восточного побережья Южной Африки, Куроисио рядом с Японией, Гольфстрим вблизи восточного побережья США. Понятно, что даже слабый поток, движущийся со скоростью близкой к фазовой скорости спектральных составляющих ветрового волнения, при продолжительном воздействии мо-

жет приводить к фокусировке энергии ветрового волнения.

Одно из первых исследований посвящено изучению механизма образования АВ вследствие их трансформации (ветровые волны, зыби) на пространственно неоднородном потоке. Авторы провели ряд оригинальных лабораторных экспериментов и натурные измерения волн на приливных скоростях. В лабораторных условиях впервые было исследовано явление блокировки гравитационно-капиллярных волн. Блокировка волн встречным потоком, в частности, выражается в формировании экстремальной амплитуды волн, то есть формируются АВ. Изменение скорости течения могут вызвать различные причины, в их числе изменение топографии дна водоема или поперечного сечения акватории, например пролива.

К форме проявления трансформации волны относится сулой – взброс воды на поверхности моря, происходящий, в частности, при резком уменьшении скорости, особенно приливной, выходе течения из узкой протоки или при сильных ветрах, направленных против скорости потока. Сулои возникают, когда ветер и скорость направлены навстречу другу. Волны в сулое короче и круче, чем обычные ветровые волны, они более асимметричны.



*Аномальная волна на Фонтанке в Санкт-Петербурге, созданная встречным течением. Волна бежит слева направо, течение движется в противоположном направлении.*

Вследствие малых масштабов сулоя он не представляет опасности для крупных судов, но создает неудобства только для маломерного флота. Для наблюдения сулоя или блокировки ветровых волн не обязательно ехать на Белое или Баренцево море – внимательный человек может заметить его с моста на Фонтанке в Санкт-Петербурге.

Описанные выше явления генерации волн на пространственно неоднородных течениях часто наблюдаются не только в морях, но и в озерах, водохранилищах и реках. Хотя взаимодействие волн и потоков при этом не формирует АВ, как в океане, учет их взаимодействия часто очень важен, поскольку может приводить к формированию волн, делающих проводку судов (речного и озерного типа) невозможной. Это хорошо знакомо речникам. Практика судовождения по-

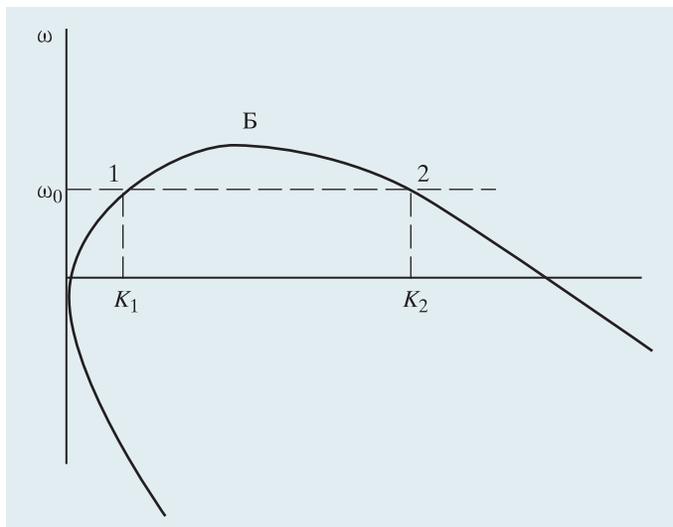
казала, что при сильном ветре, направленном по течению реки, проводка судов возможна. Ветер такой же скорости, но направленный в противоположную сторону, формирует крутые и высокие волны, делающие невозможной проводку судов.

Рассмотрим распространение волн на стационарном пространственно неоднородном потоке. В первом приближении его скорость считается неизменной по вертикали. Пусть волны движутся в направлении увеличения скорости встречного потока. Вследствие стационарности процесса частота волн в неподвижной системе координат будет неизменной. Применяя уравнение для фазовой скорости гравитационных волн и выражение, связывающее частоту, волновое число и фазовую скорость, получаем квадратное уравнение

для величины фазовой волны.

Из решения этого уравнения следует, что волны не распространяются в область встречного течения, где скорость больше четверти фазовой скорости волн. В критической точке скорость движущейся воды равна и противоположно направлена групповой скорости волн, результирующая групповая скорость волн обращается в ноль. Эта критическая точка называется точкой блокировки, в ней происходит не только остановка волн, но и ее отражение: волны начинают двигаться в другую сторону. На дисперсионной кривой одному значению частоты соответствуют две волны, бегущие влево. У фазовых скоростей этих волн одинаковое направление, у групповых – противоположное. Для одной волны групповая скорость больше нуля, для другой – отрицательная. Первая волна – прямая, или падающая, вторая – обратная, или отраженная. Продолжительное время считалось, что второе решение не имеет физического смысла, но экспериментальные

Диаграмма дисперсионного соотношения для гравитационных волн, распространяющихся на встречном течении. Частоте  $\omega_0$  соответствуют две волны с волновыми числами  $k_1$  и  $k_2$ ; Б – точка блокировки, где групповая скорость равна нулю; 1 (частота  $\omega_0$ , волновое число  $k_1$ ) – прямая волна, групповая скорость положительная, 2 (частота  $\omega_0$ , волновое число  $k_2$ ) – отраженная волна, групповая скорость отрицательная.



исследования доказали реальность отраженных волн. Изменение амплитуды волны можно получить из уравнения сохранения энергии, которое в данном случае принимает вид сохранения волнового действия.

Приведенные выше результаты справедливы только для гармонических гравитационных волн малой амплитуды. Нелинейность, спектральный состав волнения, капиллярность, диссипация приводят к существенному отличию законов изменения параметров волн от законов изменения гармонических волн малой амплитуды, движущихся в идеальных условиях. Например, при капиллярности появляются две точки, в которых групповая скорость равна нулю. Эта особенность приводит к двойной блокировке.

Измерения показывают, что приведенные

выше отношения хорошо выполняются в лабораторном эксперименте. В низкочастотном участке рассматриваемого диапазона ( $F \leq 2,5$  Гц) на встречном течении в критической точке блокировки наблюдается рост волн в 3–4 раза! Для более высоких частот (выше 4 Гц) наблюдается быстрое затухание волн, обусловленное ростом волнового числа, уменьшением групповой скорости и соответствующим ростом вязкого затухания. Таким образом, в окрестности точки блокировки для низких частот изменение высоты волны определяется в основном взаимодействием волн с потоком, на более высоких частотах преобладает влияние диссипации.

Еще одна возможность формирования АВ заключена во влиянии прибрежной топографии на формирование карти-

ны волн. Этот принцип используется в волновых генераторах для концентрирования энергии. На мелководье вблизи побережья волны разворачиваются на прибрежных отмелях, отражаются от островных препятствий и от мелей, формируя сложную дифракционную картину. Она хорошо знакома бывавшим на мелководном побережье Балтийского моря. Примером фокусировки волн на топографии прибрежной зоны считаются “бродячие” волны на отмели Кортеса у побережья Калифорнии. Основные требования возникновения АВ – развитие процесса в прибрежной зоне с изменяющейся глубиной воды и сильное течение. В таких условиях может происходить фокусировка энергии системы протяженных волн в ограниченной фокальной зоне, положение и размеры которой определя-



*Волна, созданная волнопродуктором, распространяется слева направо навстречу течению вдоль лотка создания специальным профилем дна. Наблюдается блокировка гравитационной волны. Лабораторный эксперимент.*

ются топографией дна и направлением скорости движения водной массы.

Часть АВ относят к типу экстремальных штормовых, поскольку они рождаются и развиваются внутри штормовой области, а затем выходят из нее.

Существует гипотеза формирования АВ за счет аккумуляции ветровой энергии, когда ветровое поле создается и перемещается движущейся штормовой зоной. Аномальная волна, порождаемая при этом, выше волны, порожденной неподвижным штормом. В то же время нельзя не принимать во внимание свидетельства возникновения волн, подобных "Трем сестрам", в относительно спокойном океане, когда на сотни миль вокруг не наблюдается никаких штормов.

Многочисленные исследовательские группы предлагают использовать уравнение Шредингера или его модифицированные варианты для объяснения АВ. Получаемые при этом решения

для возвышения морской поверхности имеют вид медленно меняющейся огибающей, заполненной наиболее мелкомасштабными колебаниями. Появление нелинейного уравнения Шредингера (НУШ) в качестве эволюционного уравнения процесса вовсе не исключительное свойство поверхностных волн в гидродинамике. Это уравнение применяется при описании эволюции огибающей несущей волны любой природы.

Ряд исследователей АВ утверждают, что в действительности стандартного НУШ недостаточно для получения ожидаемой картины волнения. Поэтому для описания нелинейной эволюции волнового пакета необходимо пользоваться модифицированным НУШ более высокого порядка, это якобы дает картину АВ, подобную морскому волнению, повредившему платформе Драпнера в Северном море.

Из фундаментальных уравнений гидродина-

мики следует, что само НУШ и его модификации могут описывать лишь волны малой крутизны. При большой крутизне уравнение Шредингера не имеет никакого отношения к описанию волн на воде. С другой стороны, повсеместно наблюдаются цуги волн, которые так и просятся быть представленными в качестве решений НУШ. И это неудивительно, поскольку известные записи даже АВ, наподобие солитона огибающей, приведенные к единому масштабу по вертикали и горизонтали, обладают малой крутизной! Возможно, очевидцы несколько преувеличивают крутизну АВ либо крутизна их велика по отношению к плоскости палубы кораблей, попавших под их удар. Таким образом, если отказаться от требования большой крутизны АВ, то перспектива использования НУШ при описании их как амплитудно-модулированного волнения становится очевидной.

Исследования, проведенные на основании численного моделирования нелинейных процессов, показали: предлагаемый механизм может объяснить формирование АВ лишь в искусственных

обстоятельствах, но ни в какой мере не на морских просторах!

Последние инструментальные и дистанционные измерения показывают, что АВ появляются значительно чаще, чем

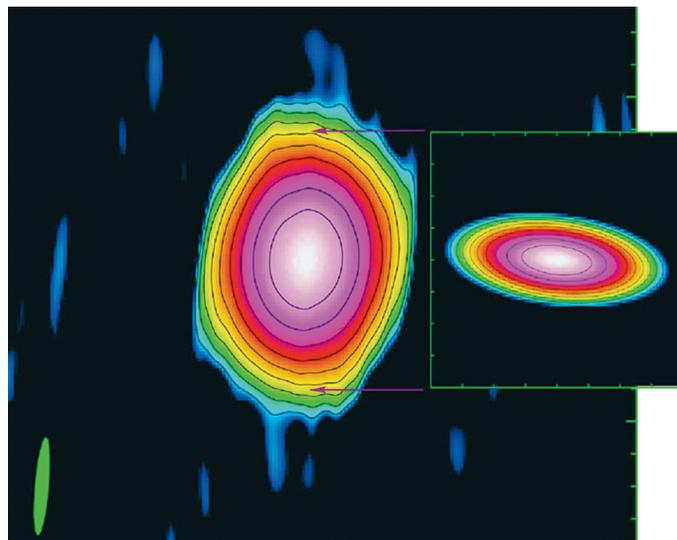
следует из теорий ветрового волнения. Значит, аномальные волны – суровая и часто трагическая реальность, но наука еще далека от возможности их прогнозирования.

## Информация

### Структуры вокруг черной дыры в Галактике

Астрофизики международного проекта “Радиоастрон” впервые смогли разглядеть структуры, связанные с процессами в сверхмассивной черной дыре в центре нашей Галактики. Черная дыра массой  $4,5 \times 10^6 M_{\odot}$  в созвездии Стрельца закрыта от нас плотными газопылевыми облаками, поэтому ее можно обнаружить только благодаря наблюдаемому рассеянному излучению. С помощью радиотелескопов можно увидеть мутное пятно, получившее название радиоисточник Sgr A\*. Никаких деталей в нем до сих пор разглядеть не удавалось. “Радиоастрон”, используя радиоинтерферометр со сверхдлинной базой, получает изображения астрофизических объектов с исключительно высоким разрешением.

Ученые Астрокосмического центра ФИАН доктора физико-математических наук Ю.Ю. Ковалёв и В.А. Соглас-



*Видимое радиоизображение центра нашей Галактики (Sgr A\*), полученное 3 июля 2014 г. на длине волны 1,3 см. Разным цветом обозначены сгустки вещества в аккреционном диске вокруг черной дыры (во врезке – модель этого образования). По данным космической обсерватории “Радиоастрон”. АКЦ ФИАН.*

нов совместно с зарубежными коллегами профессорами К. Гвинном (Университет Калифорнии) и М. Джонсоном (Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр) на основе результатов изучения пульсаров предсказали, что на длине волны 1,3 см “Радиоастрон” может увидеть неоднородности в пятне Sgr A\*. В среде, окружающей

черную дыру, обнаружены неоднородности размером 300 км, которые могут создавать на газопылевом “экране” пятнышки размером около 1 миллионной доли угловой секунды. По-видимому, это волны плотности вещества в аккреционном диске.

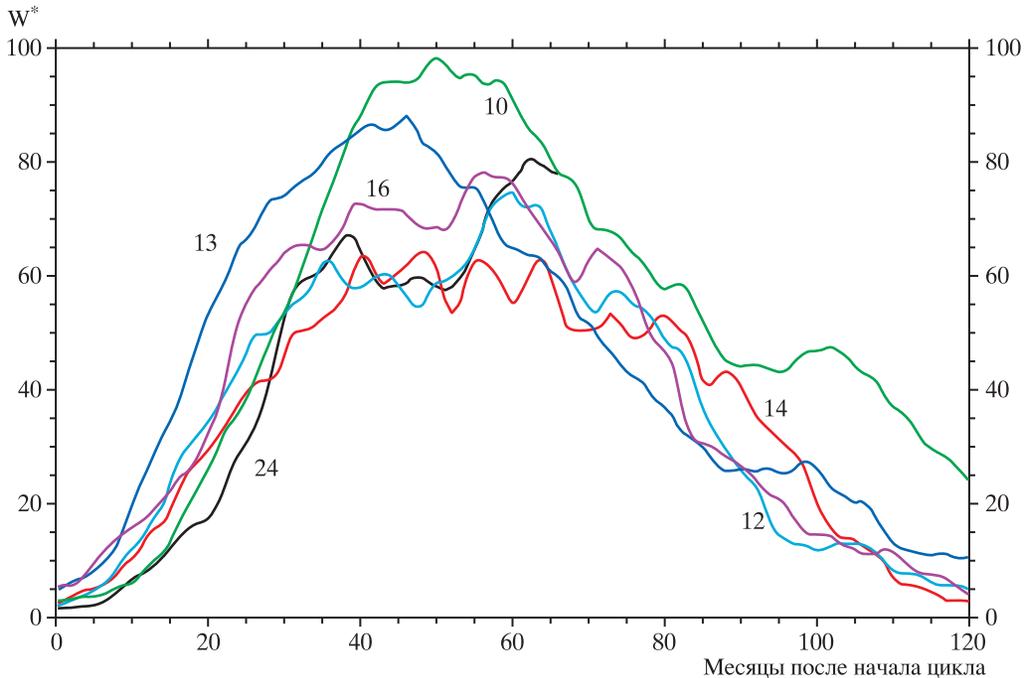
*Пресс-релиз АКЦ ФИАН,  
20 января 2015 г.*

**Солнце  
в декабре 2014 г. – январе 2015 г.**

В эти месяцы окончательно стало понятно, что максимум текущего 24-го цикла солнечной активности пришелся на апрель 2014 г. и составил  $W^* = 81,9$ . Таким образом, текущий солнечный цикл, как и прогнозировалось в наших обзорах, стал низким, открывающим новую,

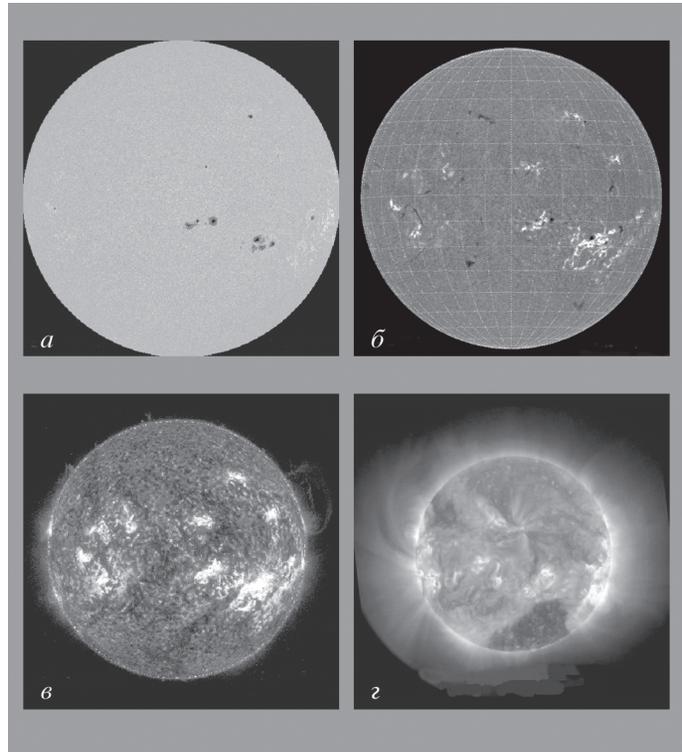
почти неизвестную нам эпоху “пониженной” солнечной активности. В эту эпоху с большой вероятностью солнечные циклы будут в основном низкой и средней величины. В истории достоверных солнечных циклов (1849–2015) это вторая эпоха “пониженной” солнечной активности (1878–1933). Но

в то время наблюдательные данные о Солнце ограничивались числами Вольфа, площадью групп солнечных пятен, временем прихода межпланетных ударных волн (внезапные импульсы геомагнитного поля – SI и SSC) и величиной возмущения геомагнитного поля (Аа-индекс). Только с нача-

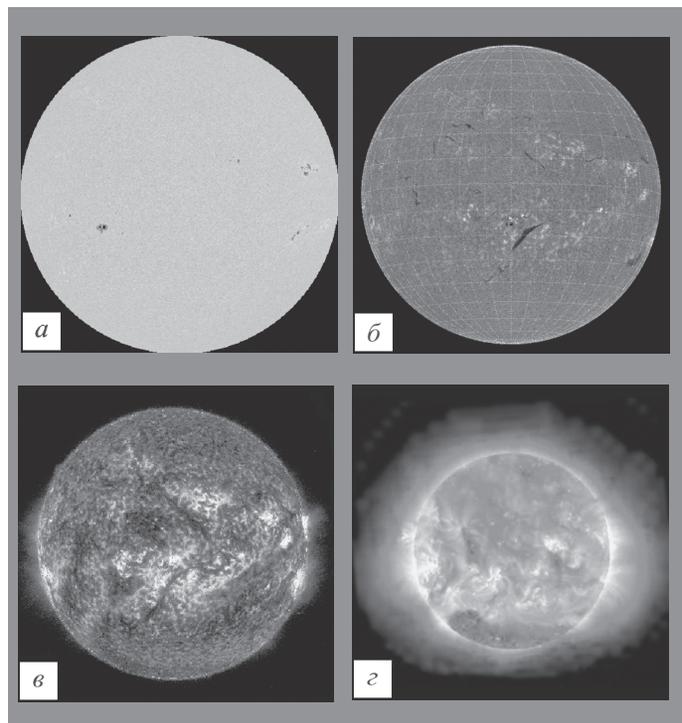


Ход развития (66 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (с 1849 г.) солнечных циклов,  $W^*$  – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен.

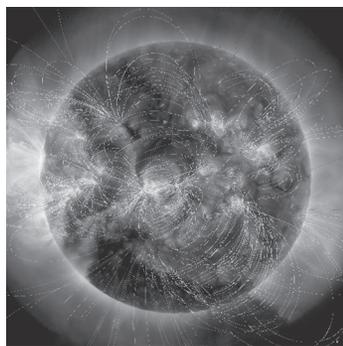
Солнце 20 декабря 2014 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ); б) в самой сильной водородной линии  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ); в) в линии крайнего ультрафиолета He II ( $\lambda = 304 \text{ \AA}$ ); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 195 \text{ \AA}$ ). Изображения получены космическими солнечными обсерваториями "SDO" и "STEREO A" (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).



лом космической эры (19-й цикл) наблюдения Солнца и его влияния на окружающую среду дают все более полную информацию. Следовательно, нам довольно много известно о Солнце в эпоху повышенной солнечной активности (1944–1996) и в переходном периоде к 23-му циклу (1996–2008), когда вслед за ослаблением общего магнитного поля Солнца уменьшились практически все характеристики. Вероятно, во время эпох солнечной активности действуют все наблюдательные правила, установленные для активных солнечных явлений, в том числе и правило



Солнце 13 января 2015 г.: а) фотосфера в непрерывном спектре ( $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ); б) в самой сильной водородной линии  $H_{\alpha}$  ( $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ); в) в линии крайнего ультрафиолета He II ( $\lambda = 304 \text{ \AA}$ ); г) в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ( $\lambda = 193 \text{ \AA}$ ). Изображения получены космическими солнечными обсерваториями "SDO" и "STEREO A" (<http://www.solarmonitor.org/>).



*Комбинированный снимок гигантской приполярной корональной дыры Южного полушария Солнца в линиях крайнего ультрафиолета ( $\lambda = 171, 11$  и  $193 \text{ \AA}$ ). Снимок получен 28 января 2015 г. космической солнечной обсерваторией "SDO" (<http://spaceweather.com>). На изображение наложены расчетные магнитные силовые линии.*

Гневышева – Оля, по которому нечетный цикл должен быть выше четного. Можно предположить с большой долей уверенности, что 25-й цикл будет средним по величине, но солнечная активность возрастет ( $W^* = 110\text{--}120$ ).

Пятнообразовательная активность Солнца в рассматриваемый период уверенно держалась на среднем уровне, лишь дважды в декабре поднимаясь до высокого уровня. Число групп пятен на видимом диске Солнца менялось от 3 до 12. В подавляющем большинстве группы пятен были небольшими и спокойными, 4 из них были большими по площади (все в Южном полушарии), 1 группа средне-

го размера образовалась в Северном полушарии, 2 – в Южном. Всего же из 50 групп солнечных пятен 22 появились в Северном полушарии, то есть продолжается тенденция значительного превышения групп солнечных пятен в Южном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен четко обозначила максимум цикла и пошла на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа –  $W_{\text{дек.}} = 78,0$  и  $W_{\text{январ.}} = 67,0$ . Сглаженное значение относительного числа солнечных пятен в мае, июне и июле 2014 г. составило  $W^* = 80,5$ ;  $79,7$  и  $78,6$  соответственно.

В декабре первые два дня и 14–21 декабря относительное число солнечных пятен держалось на высоком уровне. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 7 декабря ( $W = 39$ ), максимальное – 17 декабря ( $W = 121$ ). Вспышечная активность была на высоком уровне 4 декабря. Сутками раньше в большой группе пятен Южного полушария было отмечено всплытие значимого нового магнитного потока и, как следствие, за 28 ч 4–5 декабря произошли 3 солнечных вспышки большого (M6.1) и средних баллов. Большие солнечные вспышки связаны с прохождением по видимому солнечному диску комплекса активных областей (КАО), состоящего из 2 больших групп пятен. В период с 17 по 20 декабря в этих группах пятен за 72 ч произошло 3 больших вспышечных события. Пер-

вое (2B/M8.7 – 17 декабря) и третье (X1.8/3B – 20 декабря), самое мощное, зарегистрированы в более северной группе пятен КАО, а 18 декабря произошла вспышка балла M6.9/2N в более южном компоненте. Несмотря на то, что эти вспышечные события происходили в долгом интервале, благоприятном для Земли, в геомагнитном поле лишь 22 декабря отмечена малая магнитная буря, а 23–24 декабря – лишь отдельные суббури. Средний уровень вспышечной активности отмечен 1, 6, 13, 19, 21, 22 и 26 декабря. В остальные дни вспышечная активность была на низком уровне. Выбросы солнечных волокон (10 событий) наблюдались 7, 9 (4), 10, 20 и 29 (3) декабря. Возмущения от выбросов 9 декабря вызвали малую магнитную бурю 12 декабря. Коронграфы космической обсерватории "SOHO" зарегистрировали 109 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых 1 был типа "гало", 2 – типа "частичное гало III" (угол раствора  $180^\circ\text{--}270^\circ$ ) и 6 – типа "частичное гало II" (угол раствора  $90^\circ\text{--}180^\circ$ ). Три рекуррентные и одна вновь образовавшаяся корональные дыры проходили по видимому диску Солнца, однако значимых возмущений в околоземном космическом пространстве они не вызвали. На средних широтах Земли отмечены 4 малые магнитные бури: 7–8, 12, 21–22 и 29–30 декабря. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов

с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 7–15 и 31 декабря.

В январе 2015 г. уровень пятнообразовательной активности Солнца заметно понизился, но держался на среднем уровне. На видимом диске Солнца наблюдалось от 9 до 3 групп солнечных пятен, в том числе 1 большая и 3 среднего размера. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **10 января (W = 88)**, минимальное – 21 января (W = 30). Высокий уровень вспышечной активности наблюдался 13 января (вспышка балла M5.6, M4.9/2B с двумя рентгеновски-

ми всплесками в группе пятен Северного полушария). Вспышки среднего балла отмечены 2, 14, 22, 26 и 28 (2) января. Выбросы солнечных волокон (16 событий) наблюдались 8, 9, 11, 17, 20 и 23 января. Коронаграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали более 100 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди них были 2 типа “частичное гало II” (угол раствора 90°–180°). В январе наблюдались 3 рекуррентные и 1 вновь образовавшаяся корональные дыры, но их геоэффективность была незначительной. Единственная

малая магнитная буря зарегистрирована 4–5 января, 7 и 8 января были отмечены две интенсивные магнитные суббури. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 1–2 января – продолжение потока 31 декабря.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в Интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

*В.Н. ИШКОВ*  
ИЗМИРАН

---

## *Информация*

---

### **Магнитное поле нашей Галактики**

На основе результатов регистрации микроволнового фона Вселенной в 2009–2013 гг. космической обсерваторией “Планк” (ESA) составлены карты реликтового излучения (Земля и Вселенная, 2014, № 1). Среди исследованных ис-

точников излучения – газопылевые облака, в которых происходит звездообразование. Слабое магнитное поле заполняет Млечный Путь, его создает вращение заряженного газа вокруг центра Галактики и пронизывают межзвездные облака. Под действием магнитного поля частицы пыли приобретают одинаковую ориентацию, наблюдаемую по рассеянию фонового излучения. Поляризованную эмиссию межзвездной пыли чувствительные датчики “Планка” зафиксировали в диапазоне 353 ГГц. Недавно специалисты подготовили карты высокого разрешения, охва-

тывающие область  $\pm 30^\circ$  от ее экватора, на которых запечатлено взаимодействие межзвездной пыли и магнитного поля нашей Галактики (см. стр. 2 обложки). Межзвездное магнитное поле сильнее всего в центральном диске Галактики. Ученые надеются определить влияние магнитного поля на структуру и эволюцию Млечного Пути, изучить его роль в звездообразовании.

*Пресс-релиз  
Института космической  
астрофизики  
(Франция),  
15 декабря 2014 г.*