

# Спутниковый мониторинг водной биоты

П.В. Люшвин<sup>1</sup>, В.В. Сапожников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Научный центр оперативного мониторинга Земли, 127490 Москва,  
ул. Декабристов, вл.51, стр. 25  
E-mail:lushvin@mail.ru*

<sup>2</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и  
океанографии, 107140 Москва, В. Красносельская, 17  
E-mail:biochem@vniro.ru*

Среди биотических и абиотических факторов определяющих развитие многих популяций рыб, ракообразных и морепродуктов особое значение имеют сейсмострессовые факторы. Землетрясения приводят к краткосрочным разгрузкам на разломах земной коры через активизированные вулканы и грифоны сотен тонн литосферных вод и км<sup>3</sup> газов (метан, водород, сероводород, радон и др.). Присутствие некоторых из этих флюидов даже в сверхмалых концентрациях (менее 0.1-1 мг/л) несовместимо с развитием рыбных популяций - гибель молоди, раскосячивание и нарушение репродуктивных функций. Напротив, за счет гибели нежизнестойкой молоди рыб растет пищевая база ракообразных, а следом их воспроизводство и добыча.

Повышенная сейсмичность последних лет обусловлена прохождением максимума вековой цикличности землетрясений, с этим связано обвальное сокращение рыбных популяций и катастрофическое падение уловов. Роль спутниковой океанографии при мониторинге состояния гидробионтов заключается в фиксации признаков сейсмической активности – дешифрировании подводных грязевых вулканов и грифонов, а также сейсмогенных атмосферных аномалий, характеризующихся локальным минимумом водяного пара в атмосфере, мелкодисперсной оптически рыхлой аэрозолью.

## Введение

Еще в судовых журналах парусных судов 17-19 веков отмечалось, что даже во время штиля на глубокой воде суда порой испытывали резкие толчки, будто они налетали на подводные рифы. Ломались мачты, пушки соскакивали с лафетов, суда давали течь. Внутри кораблей слышались шумы, как при трении судов о дно, на палубе при ясном небе слышны были громовые раскаты. Часть этих явления связывали с подводными землетрясениями; вода за счет извержении лавы меняла цвет, повышалась ее температура, вскипала поверхность моря, «били водяные фонтаны, как бы вызванные взрывом». Моряки отмечали, что «Рыбы, по-видимому, выбрасываются сами на берег», «пузырь у них лопаются вследствие быстрых изменений давления» [1]. Период этих сейсмозмущений обычно составлял 4-10 сек. На рис. 1. на схему геодинамических поясов Земли нанесены места таких «встрясок» судов [2]. Из анализа этих данных, видно, что большинство «встрясок», часто отмеченных в судовых журналах, как рифы или отмели, наблюдалось над зонами разломов земной коры и вулканами. Эти явления порой наблюдались и в относительно сейсмоспокойных регионах, например, на рейде Роттердама или в проливе Ла-Манш.



Рис.1. Совмещенная схема геодинамических поясов и участков разгрузки углеводородов с местами сейсмо «встрясок» судов в XVII-XIX веках (указаны звездочками)

В преддверии Газлийского, Паракарского и Параванского землетрясений в окрестных озерах наблюдался выброс мелкой рыбы на берег, остальная рыба была крайне возбуждена и жалась к противоположным от эпицентра берегам.

В 100-200 милях в низ по течению от землетрясений на востоке Баренцева моря с глубинами подземных толчков менее 1 км, по словам участников промысла – Г.Г. Матишова и А.А. Елизарова, поведение сайки, рыбы, с ограниченным холодными водами ареалом распространения, было весьма необычным. Вся сайка жалась к Печорскому берегу, «сама прыгала» в сети. В последующие годы непредсказуемо наступал коллапс уловов. Аналогична реакция уловов сайки и на природные землетрясения, будь они в 1995 г. в баренцевоморском регионе (рис.2) или неоднократно у берегов Камчатки (рис.3). Похоже, баренцевоморские поверхностные землетрясения «достали» даже рыб в низовьях р. Печоры. Ход уловов щуки и сига был обратен сейсмической активности, как и у морской сайки (рис.4) [3-5].

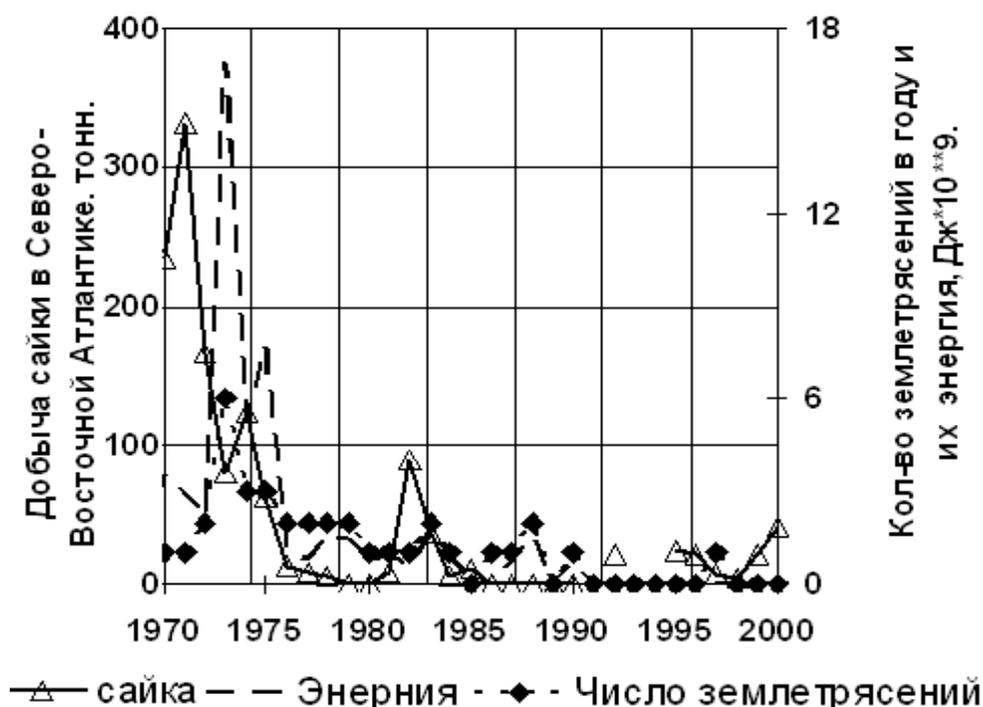


Рис.2. Сопоставление уловов сайки на востоке Баренцева моря с сейсмической активностью региона



4. для «удлинения» рядов сопоставляемых данных по рыбе-региону с 30-40 лет (с 2-3 циклов Вольфа) до 100 лет и доказательства всеобщности сейсмострессов у многих рыб рассмотрим поведение рыбных популяций в полярных и тропических широтах, в озерах и в океанских просторах;
5. дадим примеры использования данных ДЗЗ для мониторинга сейсмогенных стрессовых условий у гидробионтов.

### Ход сейсмичности на Евразийской платформе

В текущее десятилетие повторяемость землетрясений на Земле почти на порядок выше, чем десять и двадцать лет назад (рис.5). Из нашего анализа летописных землетрясений, начиная с данных Чижевского с 436 г. до н.э. до 14 века н.э., Скандинавии, Сицилии, Турции, США, рукописных и электронных мировых каталогов оказалось, что существует вековая (80-90 летняя) цикличность с максимумом в текущее десятилетие. Максимумы землетрясений наблюдаются в годы минимумов сглаженных чисел Вольфа, аналогично совпадениям максимумов 11 летнего хода землетрясений и минимумов чисел Вольфа. 90-и летняя цикличность наблюдается и в ходе уровня колебаний Каспийского моря. Катастрофическое Лиссабонское землетрясение с магнитудой около 9 баллов (1755) и землетрясение, упомянутое В. Шекспиром в трагедии «Ромео и Джульета» (1580), также происходили вблизи максимумов векового цикла [Толковый словарь Ожегова]. Существование еще примерно 400 летнего цикла землетрясений с максимумами в настоящее время, около 1600 и 1170 годов следует из изменений объемной концентрации метана (CH<sub>4</sub>) в атмосфере за 1000 лет, основного литосферного газа [6-10].

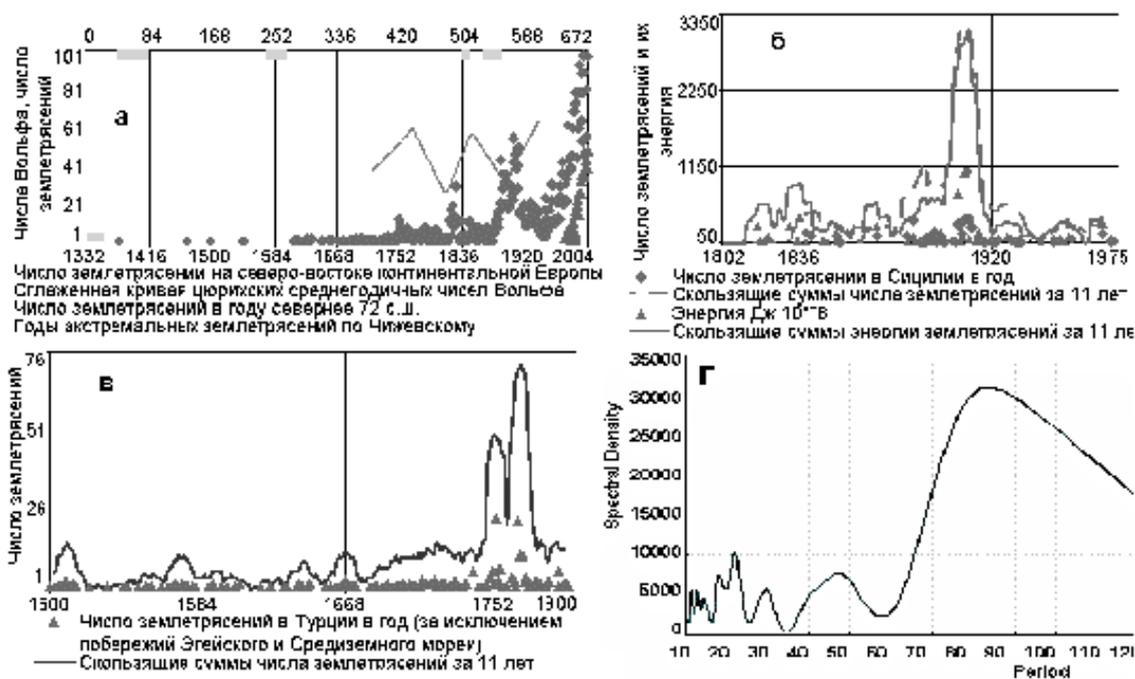


Рис.5. Летописные землетрясения по Чижевскому (верхняя шкала лет, а), число землетрясений севернее Скандинавии и в континентальной Северной Европе (нижняя шкала; до 1970 г. все данные, с 1970 г. с магнитудами более 1.8 балла). Сглаженные числа Вольфа. Землетрясения и их энергия в Сицилии за год и их скользящие суммы за 11 лет (б). Землетрясения в Турции, включая Кавказ, за исключением побережий Эгейского и Средиземного морей и их скользящие суммы за 11 лет (в; разметка по годам дана через 84 года), спектр периодичности землетрясений по перечисленным летописным данным (г)

Из анализа перечисленных данных следует, что через 5-10 лет на Евразийской платформе число землетрясений уменьшится на порядок, сейсмогенные условия воспроизводства рыб вернуться к сейсмостойким 50-90 годам 20 века.

### Состояние популяций гидробионтов в зависимости от региональной сейсмической активности

Из сопоставления уловов кильки в Каспийском море, уловы которой составляют свыше 60% всех уловов рыб в море, с суммарной за год энергией сейсмических волн в регионе, следует совпадение тенденции уменьшения популяции (добычи) кильки с активизацией землетрясений в регионе. В годы после активизации землетрясений (в 1970, 1990, 2001 гг.), наблюдался обвал добычи кильки (рис.6.). Важнейшим из представленного, является реакция добычи кильки на активизацию энергии сейсмических волн на южном берегу моря в 1957 г. в период, как тогда казалось, неисчерпаемости кильки в море (в эллипсе). В 1958 г. произошел спад добычи более чем на 20%, хотя в остальные годы с 1949 по 1966 был ежегодный прирост на 10-20% [11].

На рис.8. показана обратная тенденция числа землетрясений и урожайности анчоусовидной кильки в 1957-1967 гг., когда килька еще не полностью находилась под антропогенным прессом промышленного лова, загрязнения и вселенцев (гребневика). При построении этой врезки, согласно рекомендаций [12], зимой учитывались лишь очаги землетрясений на юго-востоке моря, где в основном идет нерест, в остальные месяцы учитывались лишь морские и вдольбереговые эпицентры. Учитывая июньскую методологию подсчета молоди рыб, все землетрясения с июля по декабрь относили к следующему году.

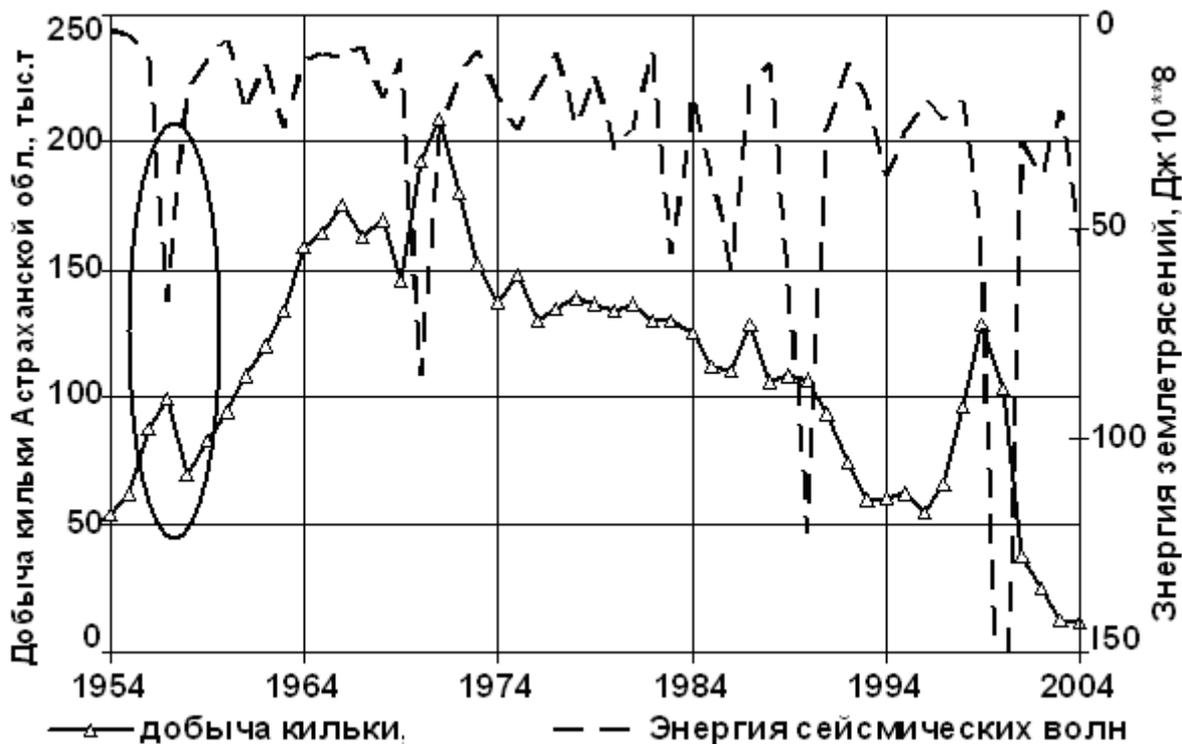


Рис.6. Добыча кильки Астраханской области, число землетрясений в регионе и суммарная энергия сейсмических волн в период с 1945 по 2004 гг.



Рис.7. Сопоставление урожайности анчоусовидной кильки и числа землетрясений в 1957-1967 гг.

На взморье Куры рыбопромысловиками отмечается неудовлетворительность запасов и промысла полупроходных рыб. К 1998 г. «Промысел воблы базировался на старших возрастных группах, пополнение стада практически отсутствовало». И это несмотря на то, что «вобла в последние годы имеет высокую упитанность» [13], что возможно при богатой кормовой базе и отсутствии конкурентов в питании. Эти же тенденции характерны и для остальных рыб. В 1989 - 1994 гг. в популяциях сельди наблюдались особи младших возрастов, с 1995 г. эти возрастные группы отсутствуют (рис.8). Объяснить развитие рыбных популяций традиционными биотическими и абиотическими факторами не удастся. Остается только стрессовый сейсмический фактор (гибель сеголеток и репродуктивные проблемы).

Временную форму активизации сейсмической активности противофазно повторяет кривая вылова сельди у Дагестанского побережья (из анализа исключены береговые эпицентры землетрясений). Восстановление уловов наблюдается через 1-3 года после сейсмоактивных лет [14]. Например, после сейсмоактивного 1986 с низкими уловами, уловы восстановились лишь к сейсмоспокойному 1988 г., аналогично после 1989 г. к 1992 г. и т. д. (рис.9).

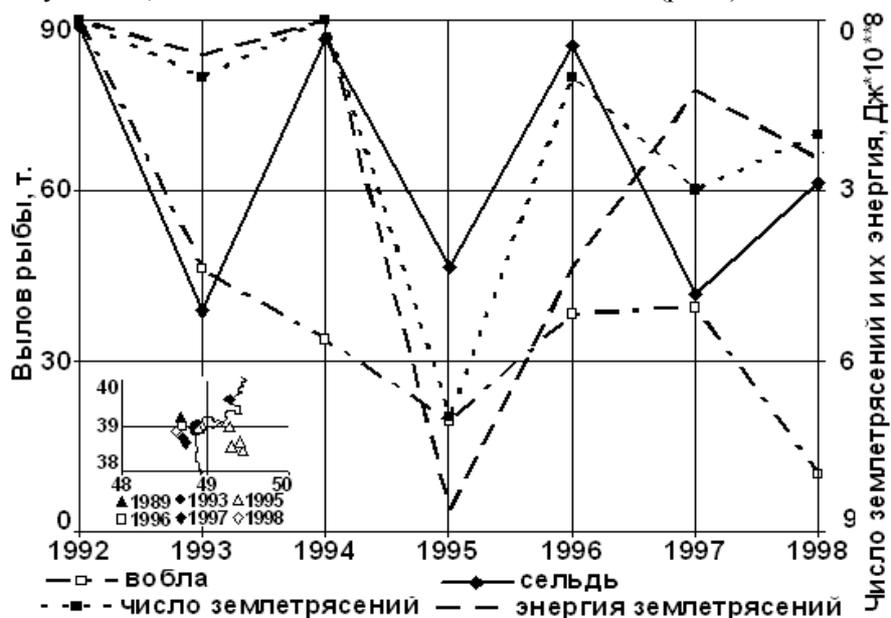


Рис.8. Сопоставление уловов воблы и сельди у р. Куры в 1992-1998 гг. с сейсмической активностью в районе дельты р. Куры. На врезке эпицентры землетрясений по годам



Рис.9. Уловы сельди у Дагестанского побережья и сейсмическая активность у берега. На врезке эпицентры землетрясений

В конце 20 века с балластными водами танкеров в южные моря России вселен чужеродный вид гребневика – Мнемипсис, существенно выедающего кормовую базу мелкой рыбы, в частности, кильки. Исследователи южных морей на его счет, на зарегулированность стока рек и загрязнения списывают беды с развитием рыбных популяций, умалчивая о прежних непонятных коллапсах уловов и воспроизводства (с развалом СССР существенно уменьшилось антропогенное загрязнение водотоков и забор воды на орошение). Воспроизводство кильки в Северном Каспии [15], в целом слабо зависит от биомассы зоопланктона, средней температуры воды акватории (рис.10). Имеется обратная связь между урожайностью обыкновенной кильки и сейсмичностью в терском углу региона с марта по середину июля. То есть природных экологических условий вдоль берега, где килька идет на нерест и обратно, теряя репродуктивные способности в зоне смешения морских и сейсмоотравленных терских вод. При отжимных ветрах южных румбов сесмоотравленными терскими водами травится молодежь кильки в северо-западной части Северного Каспия. До июля развитие Мнемипсис еще не оказывает определяющее влияние на кормовую базу северокаспийских рыб.



Рис.10. Сопоставление урожайности кильки в Северном Каспии, биомассой зоопланктона (левая шкала), средней температурой воды акватории, сейсмической активностью региона (шкала справа)

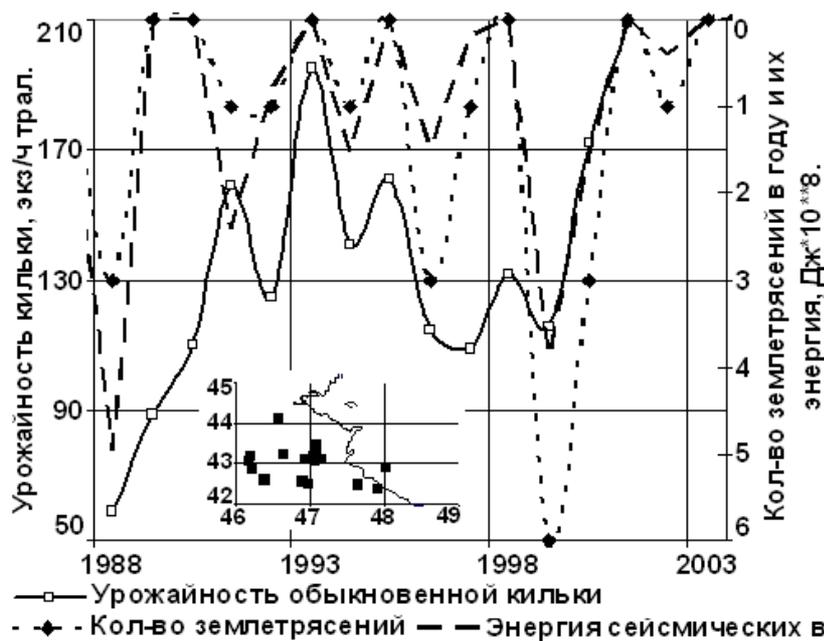


Рис.11. Сопоставление урожайности кильки и сейсмической активности. На врезке – эпицентры землетрясений.

Взапно обратны тенденции уловов рыбы в Аракумских озерах и сейсмической активности в Терском регионе (рис.12). Вспышка сейсмической активности в Терском регионе в 1967 г. привела к коллапсу уловов в Аракумских озерах в 1968-1969 гг. Рост сейсмики в 1970, 1972, 1976, 1979, 1982 и 1989 гг. сопровождался стагнацией или падением уловов леща и щуки [5]

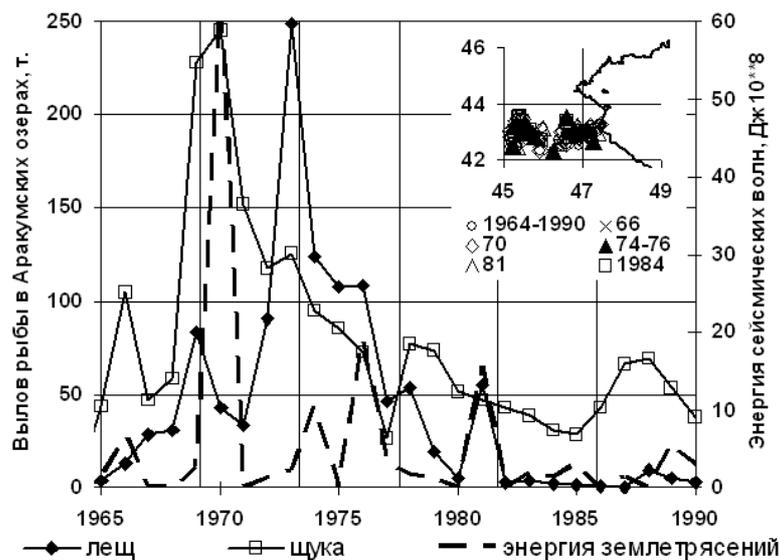


Рис.12. Зависимость уловов леща и щуки в Аракумских озерах от активизации сейсмической деятельности в регионе (на врезке эпицентры землетрясений).

### Воздействия сейсмогенных стрессовых факторов на рыбу

Согласно исследованиям КаспНИРХа, на фоне снижения антропогенных загрязнений Каспийского моря с конца 80-х годов, активизация сейсмической активности в начале 21 века привела к негативным для многих рыб изменениям среды - росту на порядок содержания  $CU$  во внутренних органах воibly и хлорорганических пестицидов (ХОП) в печени осетровых. Содержание кислорода в Среднем Каспии, начиная со 100-200 м, уменьшилось на 20% (вдвое),

произошли, не имеющие аналогов по размаху, колебания содержания минерального фосфора и кремния в воде.

Специально организованная КаспНИРХом экспедиция после масштабной весенней гибели килек в Каспийском море в 2001 г. выявила высокую гибель и обездвиженность килек в Среднем и Южном Каспии [16]. В результате работы этой и последующей экспедиций у рыб зафиксированы следующие патологические изменения:

1. паралич центра дыхания;
2. изменения жаберного аппарата (гипоксия);
3. нарушения осмотической резистентности (в результате резкого подъема с глубины);
4. токсические поражения печени;
5. изменения кишечника (отравляющие действия);
6. наличие газа в тканях и органах килек;
7. изменения репродуктивных органов, приводящих к снижению размножения.

Часть этих патологических изменений вызывается действием тяжелых металлов, нефтью и нефтепродуктами (ПДК этих веществ весной 2001 г. составляли десятки единиц против обычных единиц). Ни паразиты, ни микрофлора не были причиной гибели килек в 2001 г.

Аналогичные результаты получены при сопоставлениях сейсмической активности регионов с уловами и воспроизводством рыб в Черном и Азовском морях. Уловы сеголеток шпрота, тюльки, хамсы и барабули противофазны региональной сейсмической активности. При повышенной сейсмической активности сеголетки не доживают до годовалого возраста. На акваториях, подвергшихся массовому воздействию литосферных флюидов выжившие рыбы раскосячиваются (уловы становятся экономически не целесообразными), у них нарушаются репродуктивные функции – нежизнестойкая молодежь. Аналогичны тенденции уловов хищных рыб и сейсмической активности в акваториях с ограниченным водообменом, озерах Севан, Иссык-Куль, Байкал и на океанских просторах – морях Северо-Восточной Атлантики (мойва, морской окунь, морской карась, мольва и килька), а также в водах перуанского апвеллинга для анчоуса и креветок, для гидробионтов у Тайваня и в Охотском море (минтай, сайра). Чем интенсивнее «сейсмостресс» (повышенная гибель молодежи рыб - еда ракообразным), тем больше последующая добыча ракообразных. Эта тенденция проявляется и при текущем лове. Вслед за землетрясениями следует рост добычи креветки на месяц-два сверх среднемесячного уровня до 40% [9,17,18].

В сейсмическом Чудском озере за 40 лет ни коллапсов, ни синхронных спадов уловов нескольких видов рыб одновременно почти не наблюдалось [5]. Спад уловов в 1988-1989 гг. наблюдался после землетрясения в 1987 г. (рис.13).

### **Землетрясения есть. Сейсмострессов нет**

Сейсмострессовые воздействия на рыбу на обширных акваториях возникают лишь в местах массовой разгрузки литосферных флюидов. Образование литосферных флюидов может происходить и при сжатиях или разогреве осадочных пород, например, известняков и сланцев. В базальтовых породах этого не происходит, поэтому на популяции рыб не оказывают значимых воздействий региональные землетрясения. Примером чему служит сопоставление уловов рыб и числа землетрясений в базальтовом озере Балхаш, где величины магнитуд землетрясений доходят до 6 (рис.14.) [5].

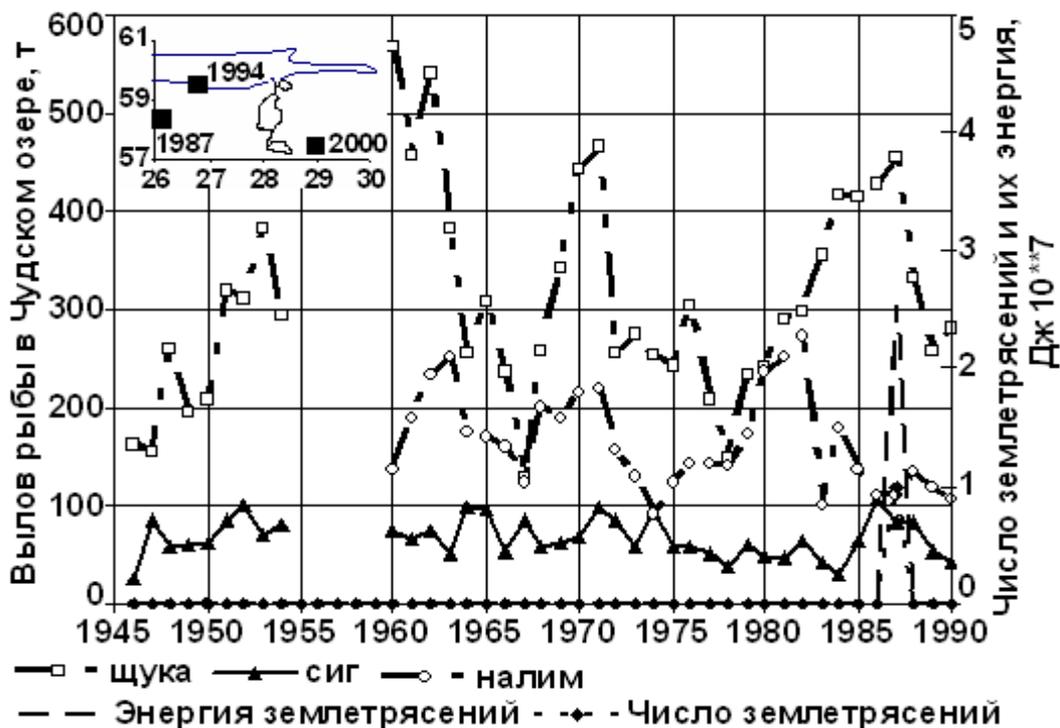


Рис.13. Соотношение между числом землетрясений в иркутском регионе с уловами рыбы в Чудском озере (на врезке места и годы ближайших землетрясений)

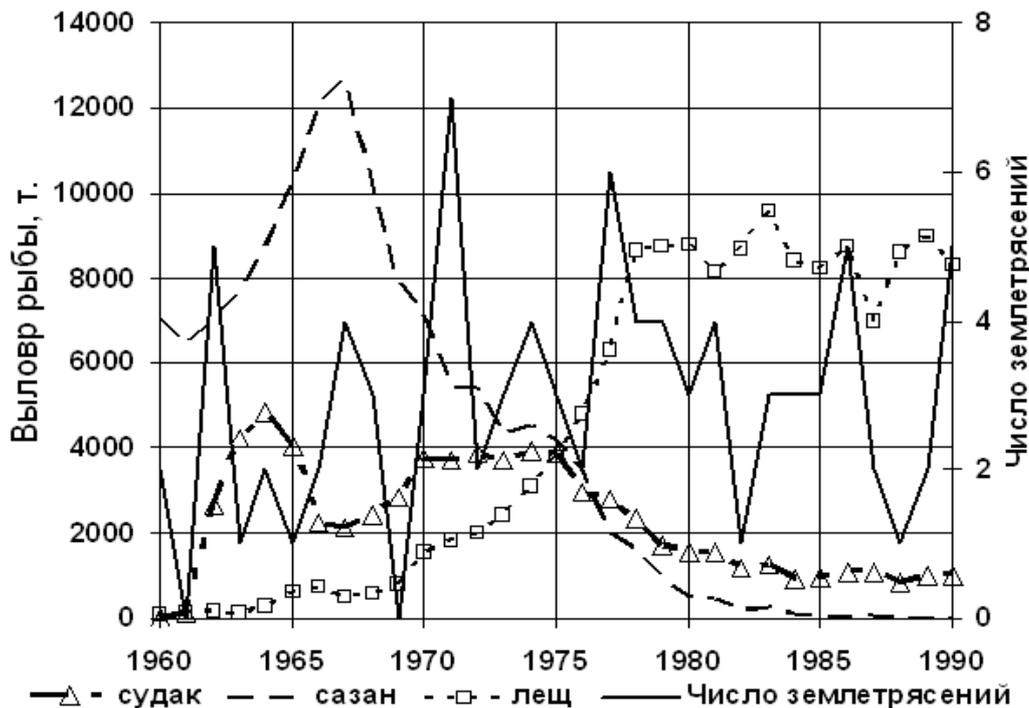


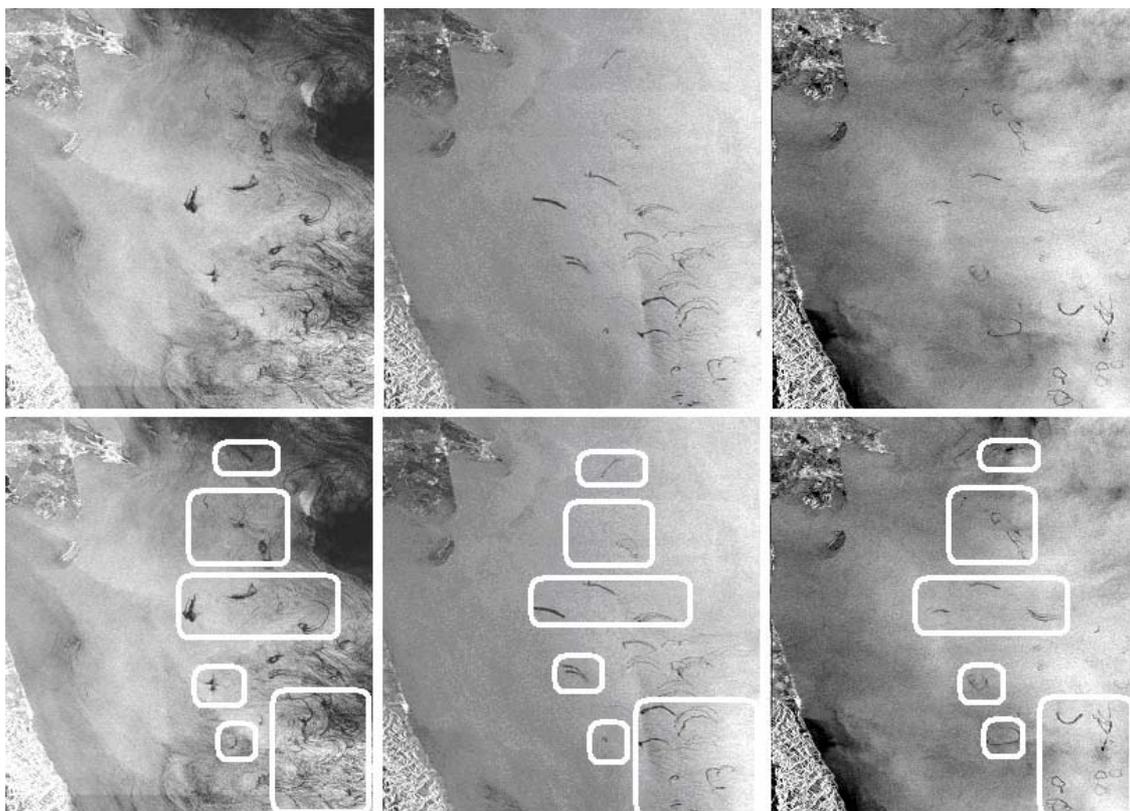
Рис.14. Соотношение между числом землетрясений в балхашском регионе с уловами рыбы в озере Балхаш

### Спутниковый мониторинг сейсмогенных стрессовых условий для гидробионтов

При сейсмической деятельности активизированные разломы земной коры кратковременно трассируются атмосферными аномалиями, что проявляется в образовании над разломами областей пониженных разностей радиационных температур на 11 и 12 мкм (в безоблачных условиях эти разности пропорциональны интегральному содержанию водяного пара в атмосфере).

Если над разломами наблюдаются сейсмогенные облака, то для них примерно равны значения альбедо на длинах волн 0.7 и 0.9 мкм, к 3.7 мкм альбедо уменьшается в 3-5 раз, по СВЧ информации характерен локальный минимум интегрального содержания водяного пара и капельно-жидкой влаги по сравнению с соседними метеорологическими облаками того же яруса. Все это признаки оптически рыхлого мелкодисперсного сухого аэрозоля. Как показано Л. Морозовой [19], при наличии в регионе метеорологической облачности над разломами облака расступаются, так как вся атмосферная пыль уже «разобрана» на ядра конденсации. Причина возникновения указанных аномалий кроется в реакции атмосферы на возмущения электромагнитного поля в зоне разломов.

Активизация подводных вулканов и грифонов в местах разгрузки углеводородов приводит к появлению на воде грязевых и нефтяных пятен. Примеры дешифрирования таких пятен к юго-востоку от дельты р. Куры, приуроченных по времени до 2÷3 дней (редко до недели) к датам землетрясений, даны на рис.15 [20].



*Рис.15. Вверху слики на радиолокационных снимках Envisat в виде кругов, полос слева – направо:05.07.2003, 09.08.2003, 15.05.2004 гг. Внизу повтор верхнего рис, повторяющиеся по местоположению слики, возможно, грифоны, околтурены белыми линиями*

### **Выводы**

1. Выявлено, что в акваториях, подверженных сейсмовлиянию, гибнет молодь многих рыб с жизненным циклом короче цикла Вольфа (11 лет) (такая длина жизненного цикла определяется малой вероятностью двух-трех всплесков сейсмической активности на жизненном пути рыбы, то есть отсутствием возможности физиологической адаптации рыб к сейсмострессам;
2. у выжившей рыбы нарушаются репродуктивные функции – молодь не жизнестойка;
3. на 1-2 месяца исчезают промысловые скопления рыб, снижаются уловы моллюсков, растет добыча ракообразных; а значит, после получения информации о произошедших сейсмических возмущениях не следует выходить в «зараженные» акватории на промысел рыбы, так как уловы будут существенно ниже прогнозируемых и экономически невыгодны, перепрофилировать суда на добычу креветки;

после аномально сейсмичных лет планировать возможные уловы на годы вперед с учетом обвала воспроизводства рыб, падения добычи моллюсков и роста популяций ракообразных.

4. сейсмострессовые воздействия на рыбу возникают лишь в местах массовой разгрузки литосферных флюидов, или на известняковых, или сланцевых породах, при сжатиях или разогреве которых образуются литосферные флюиды. В базальтовых породах «выжимки» флюидов не происходит, поэтому землетрясения там не оказывают значимых воздействий на рыбные популяции.

Эти результаты не были получены в период становления промысловой океанографии потому, что землетрясения были эпизодичны, их было меньше на порядок, чем в настоящее время, системы сбора и распространения данных о землетрясениях были неразвиты, оценки влияния сейсмofакторов на развитие промысловых рыбных популяций не проводились или были крайне эпизодичными, хотя многие подходы к этому, так или иначе, разрабатывались – радиоактивность, повышенное содержание тяжелых металлов, гипоксия у рыб в акваториях повышенной сейсмической активности. Результаты по сейсмострессам у гидробионтов получены на пике вековой сейсмической активности на Евразийской платформе, на участках разгрузок углеводородных флюидов, на основе 30-40 летней работы мировой сейсмслужбы и данных ФАО. Следует реанимировать радиационные наблюдения на судах.

Эпоха географических открытий не закончилась. Открылась ее новая страница.

### Литература

1. Роте Э. Землетрясения // М. 1934, 209 С.
2. Rudolph E. Ueber submarine Erdbeben un Eruptionen // Beitrage zur Geophysik, tt, III 1895, Stuttgart, h.537-666.
3. Статистические сведения по рыбной промышленности СССР за 1965-1991 гг, М., ВНИРО.
4. Анализ использования сырьевой базы рыболовным флотом Российской Федерации в 2000-2004 гг., М., ВНИРО.
5. Уловы рыбы, морзверя и морепродуктов во внутренних водоемах СССР в 1900 – 1990 гг. Часть 1, Сырьевая база рыбной промышленности (внутренние водоемы) // ВНИЭРХ, М. 1991, 211 С.
6. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь // Изд. «Мысль», 1973, 349 С.
7. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами // Гидрометеиздат, Л., 1987, 99 С.
8. Карпычев Ю.А. Периодичность колебаний уровня Каспийского моря по данным радиоуглеродного анализа новокаспийских отложений // М., Водные ресурсы, 1994, т.21, №4, с.415-421.
9. Люшвин П.В., Сапожников В.В. Состояние популяций гидробионтов окраинных морей и сейсмическая активность регионов // Рыбное хозяйство, М., 2006, №4, с.45-49.
10. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики // Санкт-Петербург, «Наука» 2003, 475 С.
11. Седов С.И., Парицкий Ю.А., Колосюк Г.Г., Канатъев С.В. О гибели килек в Среднем и Южном Каспии в 2001 г. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2001 год // Астрахань, 2002., с.340-346.
12. Гидрометеорология и гидрохимия морей // Том VI, Каспийское море, вып. 2, гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1996, 323 С.
13. Кулиев З.М., Зарбалиева Т.С. Динамика запасов промысловых рыб у азербайджанского побережья Каспия. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 1999 год // Астрахань, 2000., с. 136-153.
14. Омаров М.О. и др. Состояние запасов и прогноз вылова промысловых рыб на 2001 г. В дагестанском районе Каспийского бассейна Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 1999 год // Астрахань, 2000., с. 119-130.

15. Асейнова А.А., Зыков Л.А. Биология и запасы обыкновенной кильки. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2001 год // Астрахань, 2002., с. 351-357.
16. Катунин Д.Н., Голубов Б.Н., Кашин Д.В. Импульс гидровулканизма в Дербентской котловине Среднего Каспия как возможный фактор масштабной гибели анчоусовидной и большеглазой килек весной 2001 г. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2001 год // Астрахань, 2002., с. 41-55.
17. Люшвин П.В., Сапожников В.В., Казанкова Э.Р. Сопоставление изменений численности мелких рыб в Азовском и Черном морях с сейсмической активностью в Азово-Черноморском регионе // Рыбное хозяйство, М., 2006, №3, с.46-51.
18. Люшвин П.В., Сапожников В.В. Состояние популяций гидробионтов окраинных морей и сейсмическая активность регионов // Рыбное хозяйство, М., 2006, №4, с.45-49.
19. Морозова Л.И. К вопросу об активности разломов, выявляемой в поле облачности на спутниковых снимках Земли // Исследование Земли из космоса // 2005, вып.2, с.27-30.
20. Люшвин П.В., Егоров С.Н., Сапожников В.В. Сопоставление сейсмической активности в Каспийском регионе с изменениями численности кильки в Каспийском море // Рыбное хозяйство, М., 2006, №2, с.62-64.