

УДК 627.224.3:556.55/.56:552.578.14:632.126



Люшвин П.В.

Метанотрофное таяние льда

Люшвин Петр Владимирович, кандидат географических наук, консультант ООО «ЛИКО» (Москва)

E-mail: lushvin@mail.ru

В традиционной гидрометеорологии и физике льда при анализе и прогнозе развития ледяного покрова учитывают только градусо-дни мороза и дрейф. Генезис проталин объясняют дрейфом, приливными явлениями, гидротермами и апвеллингом. Однако имеются ситуации, когда лед, несмотря на достаточное число градусо-дней мороза, не выдерживает расчетных нагрузок, а части акваторий слишком рано очищаются ото льда. Обуславливается это теплом, выделяющимся при бактериальном окислении метана в местах его массовой дегазации.

Ключевые слова: лед, проталина, болотный газ, метан, бактериальное окисление метана, землетрясения.

Введение

В традиционной гидрометеорологии и физике льда при анализе и прогнозе развития толщины и прочности льда учитываются только градусо-дни мороза [Океанологические таблицы 1975]. Генезис проталин и разводий объясняют то дрейфом, то приливными явлениями, то гидротермами, то апвеллингом. Однако имеются морозные ситуации вне перечисленных динамических явлений, когда лед не выдерживает расчетных нагрузок; необъяснимо тает, например, пористый лед в болотах у камышей (**рис. 1**), возникают проталины в центре сплошного апрельского байкальского льда метровой толщины [С помощью спутников обнаружены загадочные кольца на Байкале 2009] (**рис. 2**).

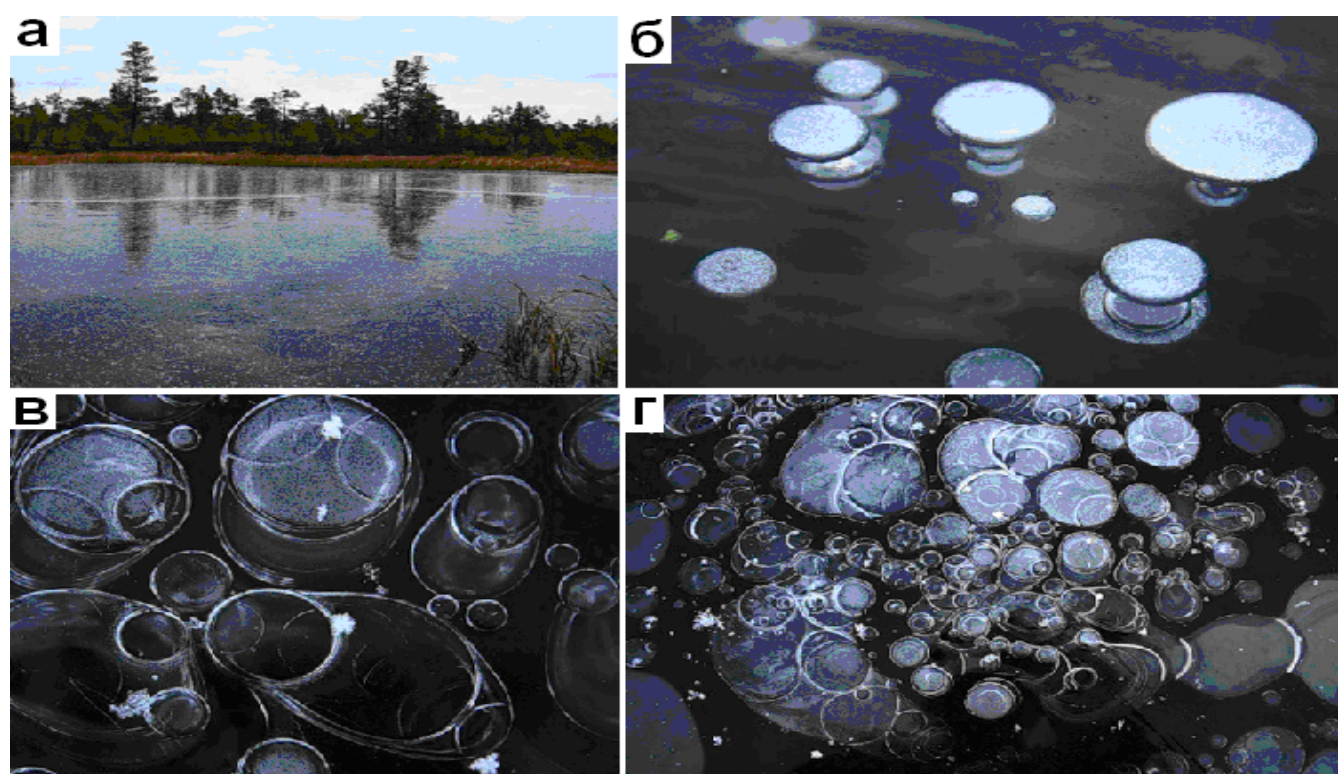


Рис. 1. Лед на болоте (**а**). Застывшие пузырьки болотного газа во льду (**б–г**). фотографии любезно предоставлены Л.Н. Литвиненко

Объяснить это динамическими причинами или гидротермами невозможно. Предиктором, обусловившим появление 20 апреля 2009 г. круговой децилометровой проталины в сплоченном байкальском льду над глубиной в сотни метров (вне болотных условий, дрейфа, подъема теплых вод, гидротерм) явилась массовая дегазация метана, что проявилась в повышении величины концентрации метана в нижней тропосфере 14–15 апреля 2009 г. (по данным спутникового радиометра AIRS [Корневой каталог FTP 2009]).

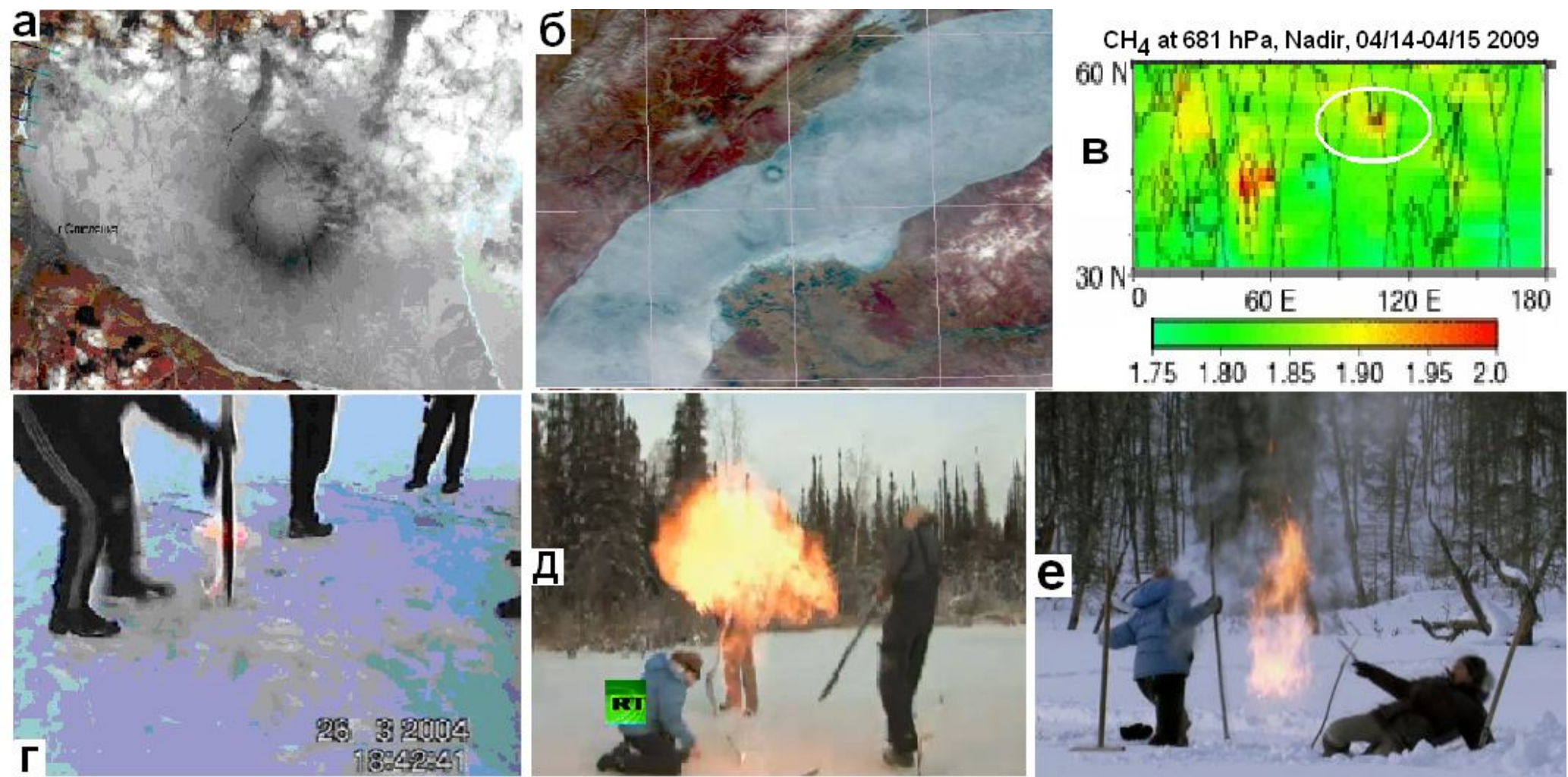
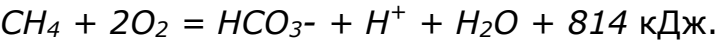


Рис. 2. Проталина в байкальском льду 20 апреля 2009 г. Фрагменты снимков спутников Landsat-7 (а) и Terra (изображение радиометра MODIS) (б); вспышка концентрации метана в нижней тропосфере байкальского региона (в). Поджог метана в лунке в устье р. Селенги и на р. Лене (г, д, кадры из фильма о байкальском льде, любезно предоставленного профессором Геологического факультета Иркутского ГУ В.П. Исаевым), на сибирском озере (е, фото от 22 марта 2010 г. с сайта «Химия и химики. Форум химиков-энтузиастов». <http://chemistry-chemists.com/forum/viewtopic.php?f=7&t=215&start=20>, название озера не указано).

Доказательство скоплений метана подо льдом — отснятый профессором В.П. Исаевым поджог воздуха над свежей лункой в устье р. Селенги и на р. Лене (см. **рис. 2**). Иллюстрацией тепловой составляющей при бактериальном окислении метана является суточный рост температуры илов до 3°С при преобладании окисления метана над его образованием [Люшвин и др. 2010]:



Метанотрофные проталины и разводья

На северо-востоке Баренцева моря у Северного острова Новой Земли в поверхностных водах Русской Гавани концентрация метана аномально высока (**рис. 3**). Именно здесь в отрыве на 100÷300 км от чистой воды Баренцева моря, как правило, наблюдаются разводья и полыньи [NOAA, Satellite Services Division, Snow and Ice Products, Data Archive] (**рис. 4**). Развитию этого феномена способствует тепло, активно выделяющееся при бактериальном окислении метана.

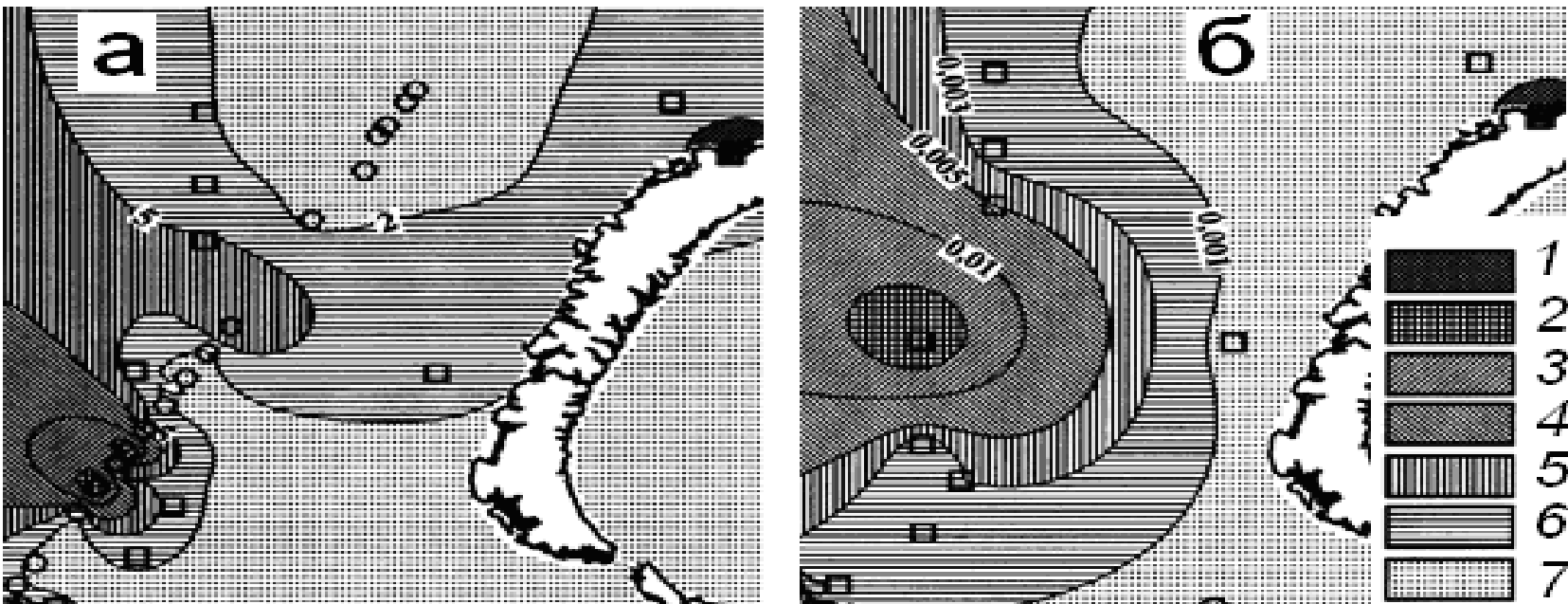


Рис. 3. Распределение концентрации метана (а) и скорости микробного окисления метана (б) в поверхностном слое водной толщи Баренцева моря. Концентрация метана, нмоль × л⁻¹: 1) >1700; 2) 30—1700; 3) 20—20; 4) 10—20; 5) 5—10; 6) 2—5; 7) <2. Скорость окисления метана, нмоль × л⁻¹ × сут⁻¹: 1) >1,5; 2) 0,015—1,5; 3) 0,01—0,015; 4) 0,005—0,01; 5) 0,003—0,005; 6) 0,001—0,003; 7) <0,001

ЛЮШВИН П.В. МЕТАНОТРОФНОЕ ТАЯНИЕ ЛЮДА

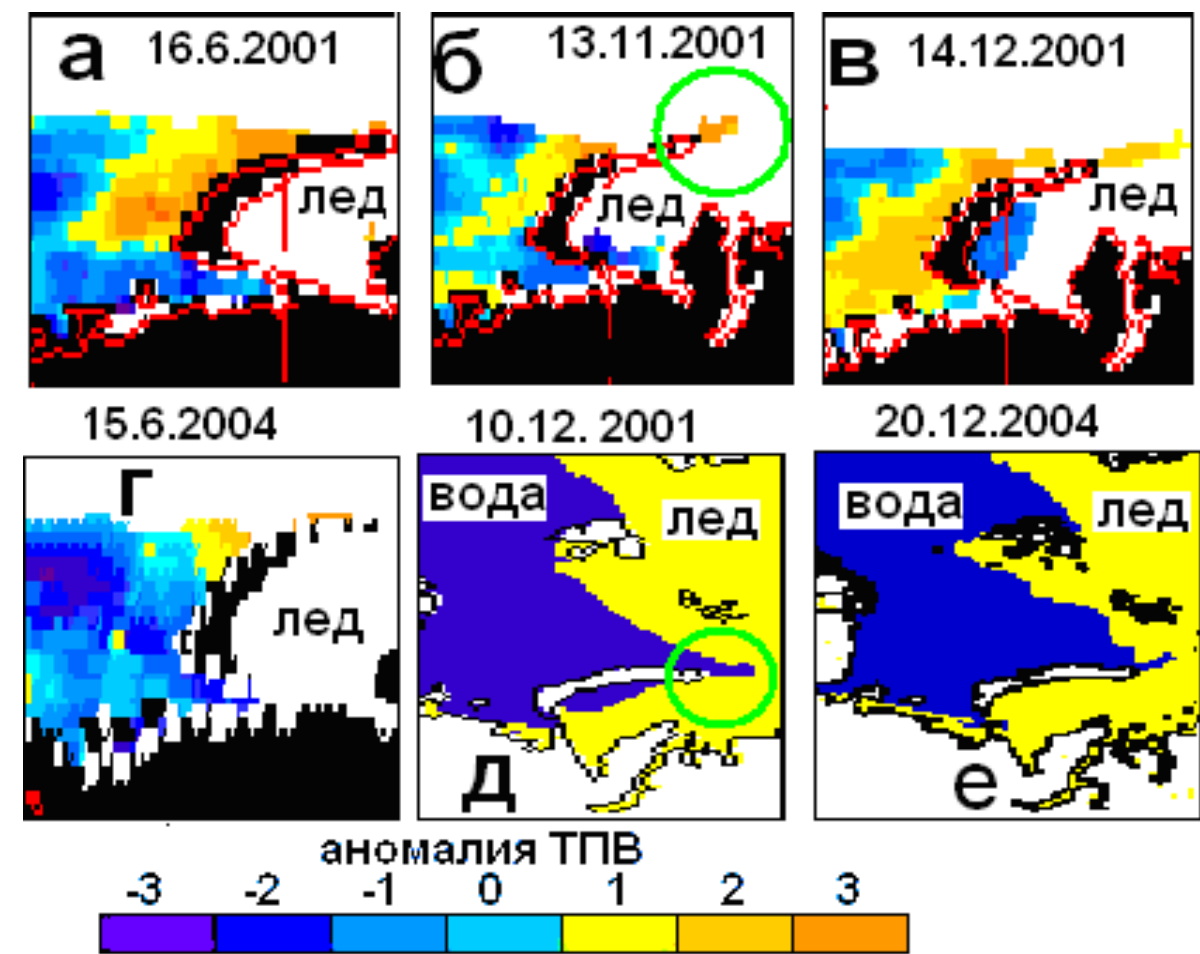


Рис. 4. Ледяной покров в Баренцевом и Карском морях. Аномалия температуры поверхности воды (ТПВ) (а–г).

Из сопоставлений положений разводий и полыней у южного и восточного берегов о. Сахалин с региональной сейсмичностью следует, что после землетрясения в проливе Лаперуза 7 апреля 2001 г. к 10 апреля в проливе образовалось обширное разводье [ANSS — Advanced National Seismic System 2001] (рис. 5). После серии землетрясений в середине февраля 2003 г. за мысом Терпения к 3÷5 марта там также образовалось разводье, во второй половине марта оно стало различимо и по микроволновым спутниковым данным низкого разрешения.

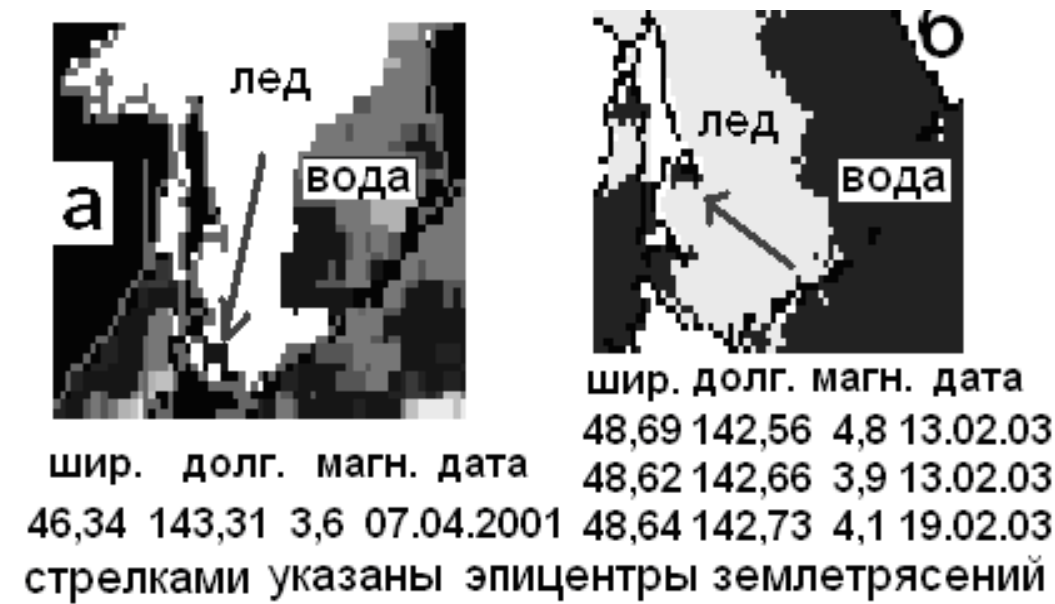


Рис. 5. Ледяной покров и эпицентры землетрясений у берегов о. Сахалин в апреле 2001 г. (а), феврале 2003 г. (б).

Из сопоставления числа землетрясений с датами очищения ото льда всего юго-восточного берега о. Сахалин следует, что между ними есть некая связь ($R > /-0,73/$). При трех и более числе землетрясений с февраля по начало мая акватория очищается ото льда в конце мая — начале июня. В более сейсмоспокойные весны лед задерживается до конца июня (рис. 6).

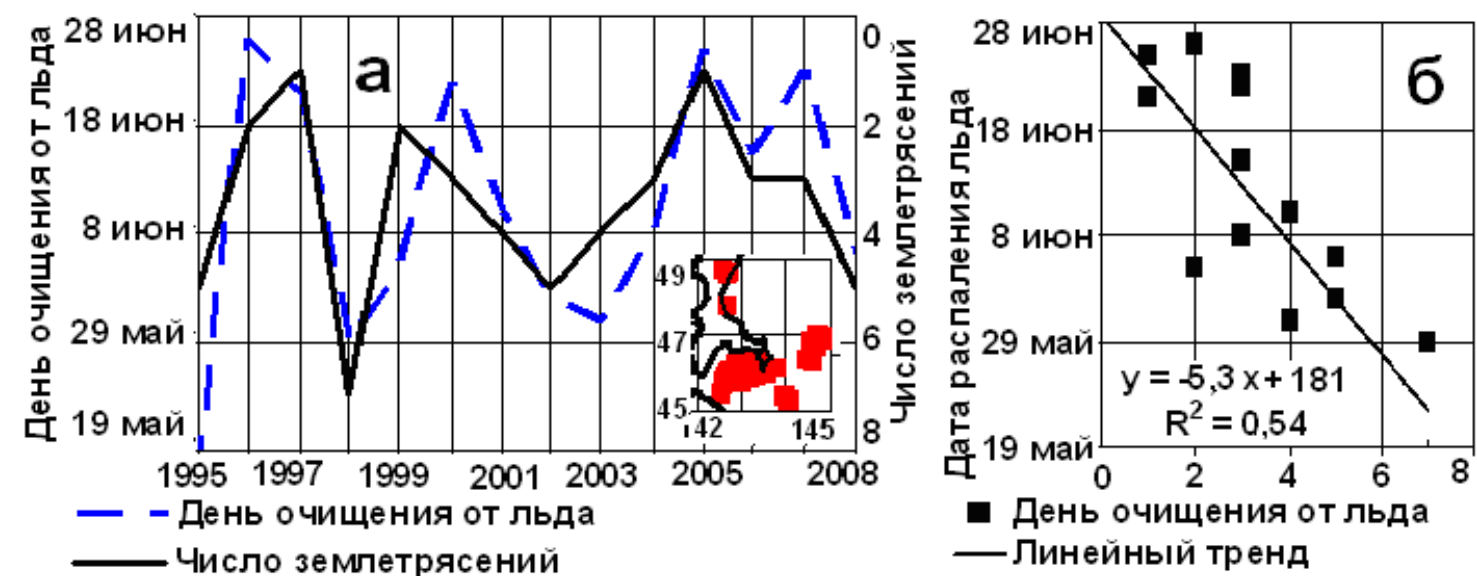


Рис. 6. Сопоставление числа землетрясений с датами очищения ото льда восточного берега о. Сахалин (а, б) (даты смены сезонов в дальневосточном регионе любезно предоставлены М.А. Богдановым, ВНИРО). На врезке эпицентры учтенных землетрясений.

ЛЮШВИН П.В. МЕТАНОТРОФНОЕ ТАЯНИЕ ЛЬДА

Несоответствия противофазных тенденций обусловлены ограничениями Интернет-каталогов землетрясений, где содержится информация о событиях с магнитудами свыше $3\div 4$, и тем, что рассматриваемые факторы однозначно не определяют дегазацию метана и развитие ледяного покрова (если не учитывать взаимообусловленность сейсмических и метеорологических процессов [Сытинский 1987]), а лишь способствуют таянию местного льда, подобно кипятку в кофе с мороженым.

Последние десятилетия имеется тенденция к сокращению площади льда в Северном Ледовитом океане [U.S. National Ice Center 2012]. К октябрю его площадь с 1980 г. по 2012 г. сократилась на треть (рис. 7).

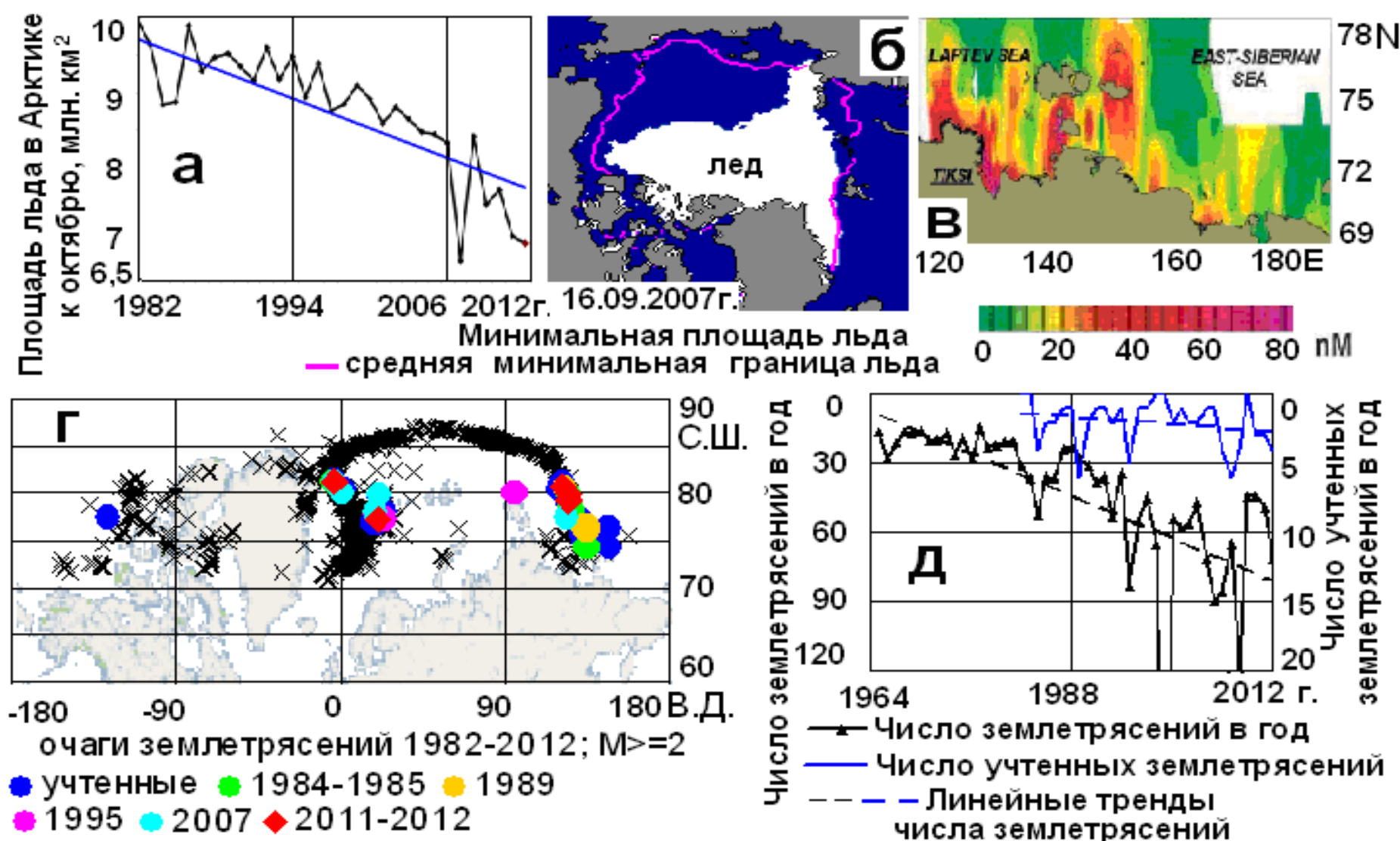


Рис. 7. Межгодовой ход минимальной площади льда в Северном Ледовитом океане (а). Минимальная площадь льда 16 сентября 2007 г. (б). Содержание метана в подповерхностных водах восточносибирских морей (в). Очаги всех и учтенных землетрясений (г), межгодовой ход числа всех и учтенных землетрясений (д).

Исследователи, с оговорками, связывают это сокращение площади льда с потеплением климата (хотя остается не ясным, как потепление менее чем на 2°C может привести к значительному сокращению площади льда повсеместно севернее 75°).

По нашему мнению, повышенное таяние льда связано с активизацией сейсмической деятельности в регионе насыщенных скоплениями углеводородов, соответствующим учащением сейсмогенной дефлюидизации, подъемом к поверхности обогащенных метаном придонных вод, окислением метана бактериями у нижней кромки льда и в его толще, что сопровождается выделением тепла, плавающего лед. Число и энергия землетрясений за последние 30 лет выросли в несколько раз. Количество землетрясений (за счет форшоков и афтершоков) стало порой превышать 100. Для более детального выявления сейсмогенной метанотрофной зависимости положения южной кромки льда, по-видимому, целесообразно:

- 1) учесть только землетрясения со второй половины мая по начало октября,
- 2) исключить сейсмособытия севернее 82° , где метаногенные проталины затягиваются дрейфующим или новообразованным льдом, землетрясения между Гренландией и архипелагом Шпицберген, где лед дрейфует на юг, а также у прогревающейся летом литорали и в акваториях, что к сентябрю традиционно открыты ото льда, например, южнее Шпицбергена.

При таком сопоставлении оказывается, что кромка льда максимально отходит на северо-восток именно в районах активной сейсмической деятельности. В 2007 и 2011-2012 гг., когда площадь льда сократилась максимально, наблюдалась активизация сейсмической деятельности в районе архипелага Шпицберген и в море Лаптевых. Землетрясения на суше и у литорали в этих регионах сопровождаются массовой дегазацией метана, что следует из анализа временного хода его концентрации в нижней тропосфере по данным радиометра AIRS. Громадное по площади отступление льда на северо-восток от островов Северной Земли связано с сейсмогенной дегазацией и подъемом к поверхности вод с экстремально высокой концентрацией метана [Валяев 2011].

Еще большее сходство трендов регионального положения кромки льда с сейсмогенной метанотрофией выявляется при региональном анализе. Например, до 1989 г., а позднее в сейсмоспокойные 1994, 1998, 1999 и 2001 гг. в море Лаптевых одной инсоляции было не достаточно, чтобы растопить лед к востоку от Новосибирских островов, ширина полосы

ЛЮШВИН П.В. МЕТАНОТРОФНОЕ ТАЯНИЕ ЛЬДА

открытой воды вдоль берега не превышала 50—100 км (**рис. 8**). Только при массовой сейсмогенной обработке льда метаном со второй половины мая по вторую декаду сентября начиная с 1989 г. Восточно-Сибирское море в сентябре стало освобождаться ото льда. Изменение ледового режима, произошедшее в 1989 г., по-видимому, обусловлено постепенным сейсмогенным разрушением пакового льда за счет тройного усиления сейсмогенной активности с 1965 по 1989 гг. В Баренцевом и Карском морях столь однозначной тенденции между сейсмогенной деятельностью и положением кромки льда нет. В сейсмоспокойные годы в шпицбергенском регионе к августу южнее 80° с.ш., как правило, остаются языки льда восточнее архипелага Шпицберген и у северного острова Новой Земли (**рис. 9**).

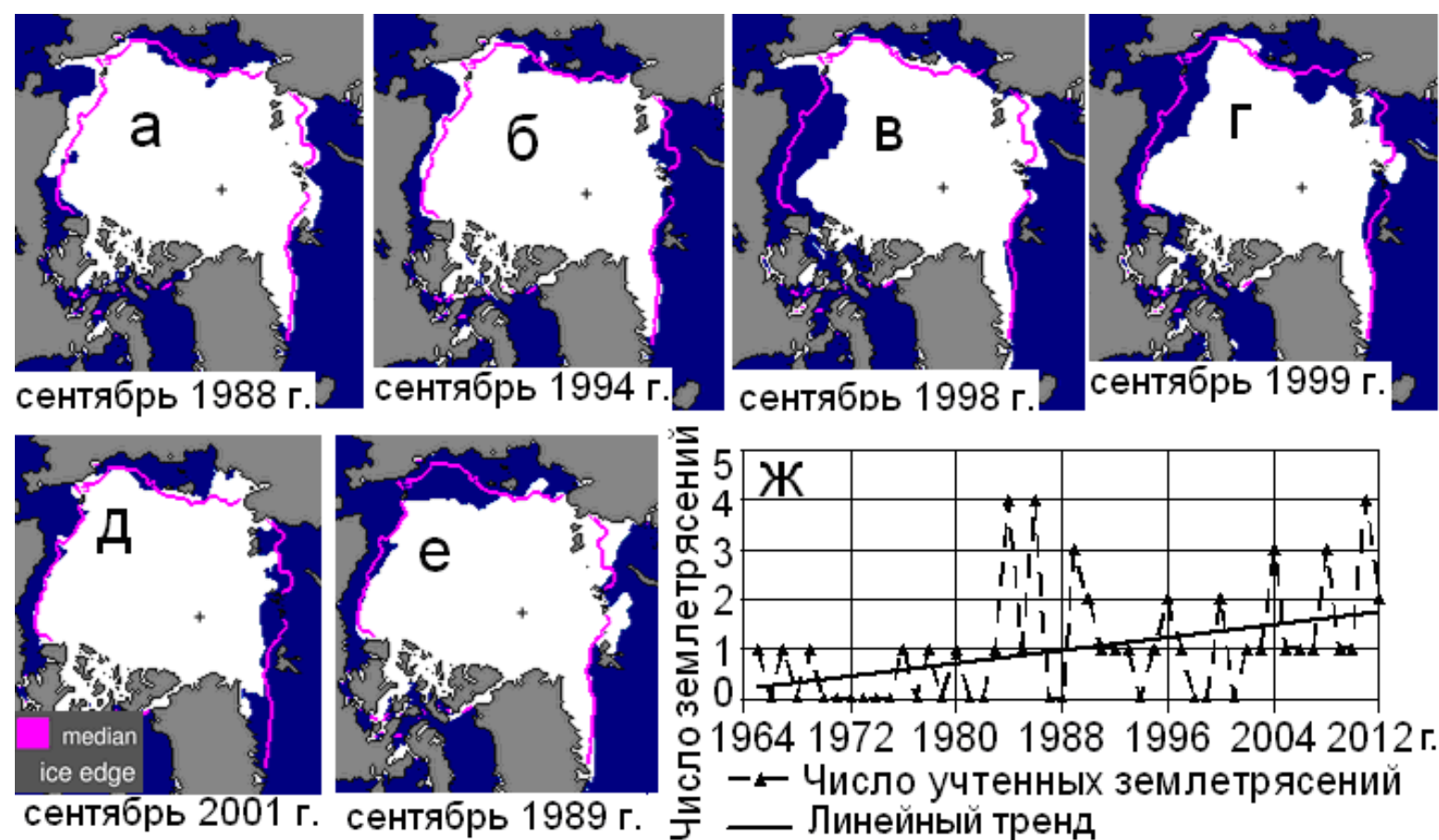


Рис. 8. Площадь льда в сентябре в сейсмоспокойные годы (**а—д**) и в сейсмоактивный 1989 г. (**е**). Число учтенных землетрясений (**ж**).

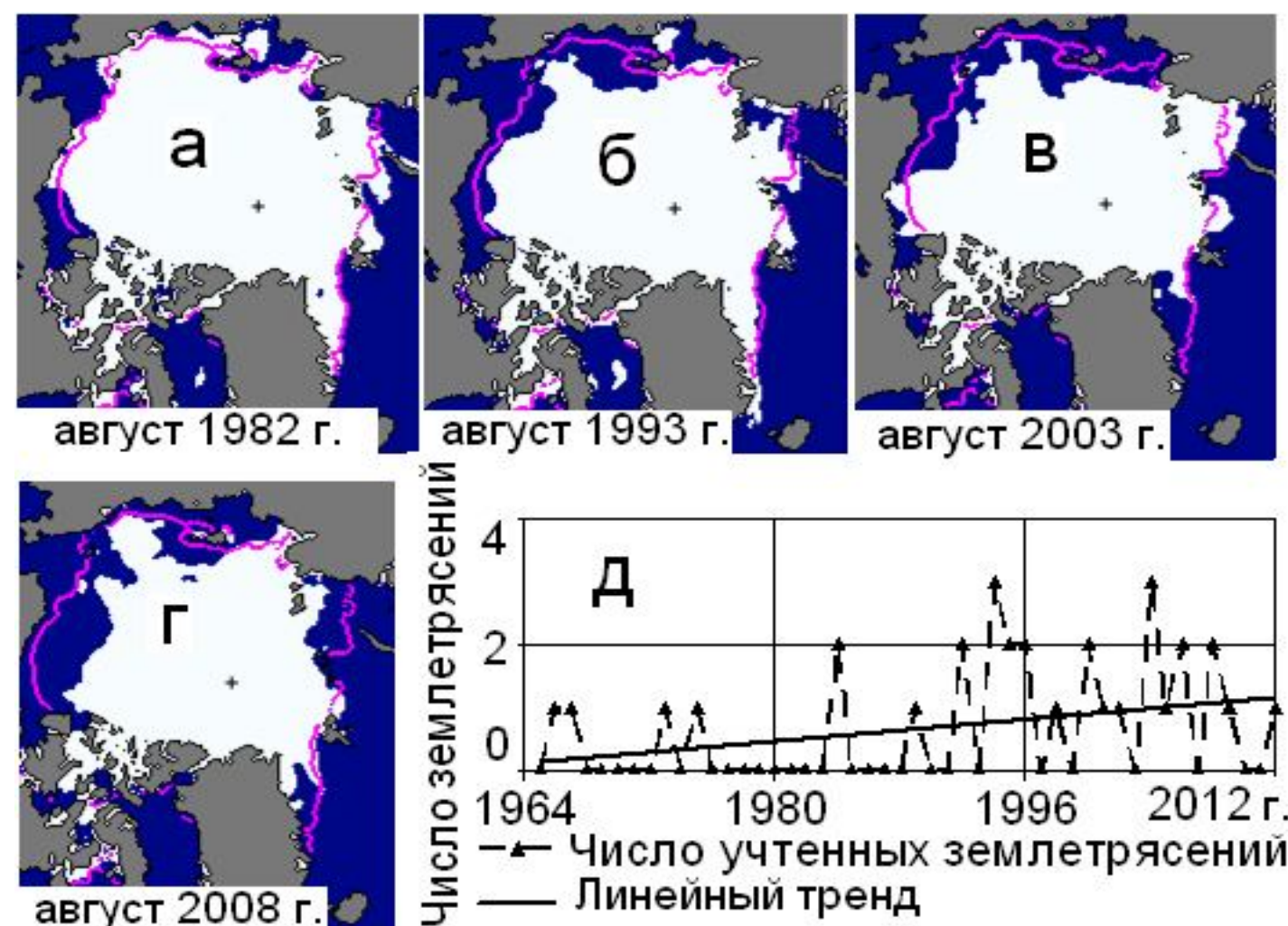


Рис. 9. Площадь льда в августе (**а—г**). Число учтенных землетрясений (**д**).

В сейсмоактивные годы кромка льда отходит на север за $81\div 82^{\circ}$ с.ш. Ситуация в сейсмоактивном 2008 г. не подпадала под соответствие единственному сейсмоактивному фактору, лед был восточнее Шпицбергенского архипелага, а у Гренландии льда не было? Здесь, по-видимому, из-за больших глубин (больше метана растворяется, окисляется, перемешивается в толще воды) и меньших величин концентрации метана в воде и грунте надо учитывать особенности водообмена между Арктикой и Атлантикой и атмосферную циркуляцию.

Такая ситуация с игнорированием бактериального окисления метана сложилась из-за того, что хоть метан и портит «удобную» аквариумную картину градусо-дней мороза развития ледяного покрова, но массовая дегазация метана в

ЛЮШВИН П.В. МЕТАНОТРОФНОЕ ТАЯНИЕ ЛЬДА

приглубых акваториях редка. В результате советские гидробиологи, гидрометеорологии и физики океана решили метан в акваториях штатно не измерять [Океанология 1979]. Вследствие чего, из-за отсутствия ссылок в нормативных документах на метанотрофное таяние льда, в заснеженном пузырьчатом льде «удобнее» все топить, чем кроме штатных наблюдений за температурой и толщиной льда определять прочность льда, концентрацию метана и кислорода.

Можно ли использовать метанотрофное таяние в хозяйственных целях? Для предотвращения заторов льда в илистых водоемах за декаду до ледохода под лед целесообразно закачивать атмосферный воздух (заделывая лунки снегом и льдом). При недостаточной концентрации природных илов у мостовых опор под них осенью и в конце зимы складировать ил с ближайших болот. Для упрочнения переходов через замерзшие водоемы следует для оттока метана делать частые лунки вдоль переходов. Предлагаемые технологии позволят отвести от аэрофильных гидробионтов крайне токсичный для них метан, насытить воду кислородом вместо весенней взрывчатки. Описанные мероприятия будут востребованы не только во внутренних водоёмах, но и в прибрежных акваториях, таких как Таганрогский, Финский, Двинской заливы.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Валяев Б.М. Дегазация Земли и процессы в биосфере. Доклад на 6-ой Международной конференции EMMM-2011 19–22 сентября 2011, Москва // Proceedings of the Sixth International conference "Environmental micropaleontology, microbiology and meiobenthology", September 19–22, 2011, Moscow / Russian acad. of sciences, Borissiak paleontological inst. of RAS [etc.]. Moscow : PIN RAS, 2011. 337 p.
2. Корневой каталог FTP. 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <ftp://l4ftl01.larc.nasa.gov/TES/>
3. Люшвин П.В., Коршенко А.Н., Катунин Д.Н., Станичный С.В. Активная роль метана в распределении гидрохимических характеристик вод окраинных морей // Рыбное хозяйство. 2010. № 4. С. 57–60.
4. Океанологические таблицы. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 477 с.
5. Океанология. Химия океана. Т. 1. М.: Наука, 1979. 518 с.
6. С помощью спутников обнаружены загадочные кольца на Байкале // СканЭкс. Инженерно-технологический центр. 2005. 8 мая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n24767232
7. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 99 с.
8. ANSS — Advanced National Seismic System. URL: <http://www.ncedc.org/cgi-bin/catalog-search2.pl>
9. U.S. National Ice Center. NIC IMS Data Archive. Northern Hemisphere 2012. URL: http://www.natice.noaa.gov/pub/ims/ims_gif/ARCHIVE/NHem/2012/
10. NOAA, Satellite Services Division, Snow and Ice Products. Data Archive. URL: <http://www.ssd.noaa.gov/PS/SNOW/archive.html>
1. Valyaev B.M. (2011). Degazatsiya Zemli i protsessy v biosfere. Doklad na 6-oi Mezhdunarodnoi konferentsii EMMM-2011 19–22 sentyabrya 2011, Moskva In: Proceedings of the Sixth International conference "Environmental micropaleontology, microbiology and meiobenthology", September 19–22, 2011, Moscow / Russian acad. of sciences, Borissiak paleontological inst. of RAS [etc.]. PIN RAS, Moscow. 2011. 337 p.
2. Kornevoi katalog FTP. 2009. URL: <ftp://l4ftl01.larc.nasa.gov/TES/>
3. Lyushvin P.V., Korshenko A.N., Katunin D.N., Stanichnyi S.V. (2010). Aktivnaya rol' metana v raspredelenii gidrokhimicheskikh kharakteristik vod okrainnykh morei. Rybnoe khozyaistvo. N 4. Pp. 57–60.
4. Okeanologicheskie tablitsy. Gidrometeoizdat, Leningrad. 1975. 477 p.
5. Okeanologiya. Khimiya okeana. T. 1. Nauka, Moskva. 1979. 518 p.
6. S pomoshch'yu sputnikov obnaruzheny zagadochnye kol'tsa na Baikale. SkanEks. Inzhenerno-tekhnologicheskii tsentr. 2005. 8 maya. URL: http://www.scanex.ru/ru/news/News_Preview.asp?id=n24767232
7. Sytinskii A.D. (1987). Svyaz' seismichnosti Zemli s solnechnoi aktivnost'yu i atmosferynymi protsessami. Gidrometeoizdat, Leningrad. 99 p.

METHANOTROPHIC ICE THAWING

Petr V. Lushvin, PhD (Geography), Consultant at LIKO Ltd. (Moscow)
E-mail: lushvin@mail.ru

It is a tradition in hydrometeorology and in the physics of ice to take into account only the day-degrees of frost and drift for analysis and forecast of ice cover. Researchers regard the ice thawing is a result of drift, tidal phenomena, hydrotherms and upwelling (lifting of waters). However, there are situations when the ice does not withstand the calculated loads, in spite of a sufficient number of degree-days of frost, and water areas are cleared of ice too soon. The author shows that the cause of these phenomena is the heat generated by bacterial oxidation of methane in areas of its mass decontamination.

The author also believes that methanotrophic ice thawing may be used for economic purposes. So to prevent ice jams in uliginous water basins, the author recommends to pump air through the ice per decade before the ice flow (closing up holes with snow and ice). In case of insufficient concentration of natural oozes in bridge piers locations it is advisable to store here the silt of nearest swamps in the autumn and late winter. The author believes that it is necessary to make frequent holes to drain methane along the crossings over frozen water bodies to harden such paths.

Keywords: ice, thawed patches, marsh gas, methane, bacterial oxidation of methane, earthquake.