

УДК 581.524.31

«ЖЕЛТЫЙ ПРИЛИВ» У БЕРЕГОВ КАМЧАТКИ – НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УГРОЗА?

¹Селиванова О.Н., ²Лепская Е.В.

¹*Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,*

Петропавловск-Камчатский, e-mail: oselivanova@mail.ru;

²*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,*

Петропавловск-Камчатский, e-mail: lepskaya@list.ru

Летом 2014 года в прибрежной акватории Авачинского залива (Восточная Камчатка) наблюдалось редкое природное явление – окрашивание морской воды в ярко-желтый цвет. После изучения водных проб выяснилось, что их необычная окраска не связана с «цветением» микроводорослей, как это бывает при «красных приливах», а вызвана скоплением огромного количества пыльцы кедрового стланика *Pinus pumila*. Пыльца образовала плотную массу в прибрежье благодаря тому, что ее зерна были связаны мицелием хитридиевого гриба *Rhizophydium*, паразитирующего на пыльце. В отличие от токсичного «красного прилива» наблюдавшийся пылевой «желтый прилив» не представляет опасности для гидробионтов и наземных потребителей морепродуктов, поскольку ни пыльца, ни хитридиевые грибы не являются ядовитыми. Однако такое явление нельзя признать совсем безвредным, так как оно участвует в процессе эвтрофикации морских водоемов избыточной массой органического вещества, что ведет к нарушению их экологического равновесия.

Ключевые слова: «желтый прилив», «красный прилив», токсичные микроводоросли, пыльца, кедровый стланик, паразитические хитридиевые грибы, эвтрофикация

IS «THE YELLOW TIDE» AT THE COASTS OF KAMCHATKA A NEW ECOLOGICAL THREAT?

¹Selivanova O.N., ²Lepskaya E.V.

¹*Kamchatka Branch of the Pacific geographical Institute FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatskii,*

e-mail: oselivanova@mail.ru;

²*Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography, Petropavlovsk-Kamchatskii,*

e-mail: lepskaya@list.ru

A rare natural phenomenon – a canary color of sea water – was observed in the coastal zone of Avacha Gulf (Eastern Kamchatka) in summer of 2014. After analyses of water samples it became clear that this unusual color was not produced by microscopic algae blooming as in the case of «red tides», but caused by accumulation of huge number of the mountain pine (*Pinus pumila*) pollen. The pollen formed a dense mass on the water surface near the foreshore due to the binding of its granules by mycelium of parasitic fungus *Rhizophydium*. In contrast to toxic algal «red tide» the pollen «yellow tide» is not dangerous to hydrobionts or terrestrial seafood eaters because neither pollen nor fungi are poisonous. However such phenomenon should not be treated as totally harmless because it takes part in the process of eutrophication of sea water with excessive organic substances leading to ecological disbalance in the closed bays.

Keywords: «yellow tide», «red tide», toxic microalgae, pollen, *Pinus pumila*, parasitic fungi, eutrophication

Летом 2014 г. в прибрежной акватории Авачинского залива наблюдалось редкое природное явление – окрашивание морской воды в желтый цвет. В частности, в середине июля жители поселка Рыбачий, расположенного в Авачинской губе на берегу бухты Крашенинникова, наблюдали, как вдоль берегового участка длиной около 1.5 км и шириной около 1.5 м сформировалась полоса воды ярко-желтого цвета (рис. 1-А). Похожую окраску морской воды наблюдали ранее у берегов Японии и Приморья. В этих случаях явление было названо «желтым приливом», а причиной его явилось массовое развитие рафидофитовой водоросли *Heterosigma akashiwo* (Y. Nada) Y. Nada ex Y. Nara et M. Chihara. Но если говорить точнее, «цветение» воды, вызываемое этим токсичным для рыб, но относительно безвредным для людей видом водорослей, скорее можно назвать «оранжевым» или «коричнево-оран-

жевым», чем «желтым». У тихоокеанских берегов Камчатки гетеросигма отмечена весной и осенью, в Авачинской губе наиболее обильна в апреле-мае при температуре воды от 0° до 3°С и может представлять опасность для идущего на нерест лосося [4].

Более близкий к желтой цветовой гамме «горчично-желтый прилив» наблюдали в мае 1991 г. в Авачинском заливе на значительной части прибрежно-прибойной полосы после сильного шторма. Такой своеобразный цвет воды был вызван интенсивным весенним «цветением» диатомовых водорослей (с примесью зеленых), сконцентрированных у берегов нагонными ветрами [4].

О причинах наблюдаемого в июле 2014 года в Авачинском заливе «желтого прилива», о котором обеспокоенные граждане сообщили в редакцию газеты «Камчатское время», были выдвинуты различные предположения. Дело в том, что жители Камчатки

уже давно знакомы с таким явлением как «красный прилив», который связан с массовым размножением токсичных микроводорослей, преимущественно динофитовых из родов *Alexandrium* Halim, *Gymnodinium* F. Stein и др., пигменты которых и окрашивают морскую воду в красно-коричневый цвет [4]. Эти динофлагелляты содержат сильный яд нервно-паралитического действия (сакситоксин), и хотя питающиеся ими морские организмы, например, моллюски, к нему устойчивы, токсин накапливается в них до уровня, который может быть смертельным для людей и животных, поедающих таких моллюсков. Трагические случаи гибели людей были отмечены в Петропавловске-Камчатском в августе 1973 г. [5]. Поэтому «красные приливы» представляют серьезную угрозу для потребителей морепродуктов. Опасаясь, что и «желтый прилив» может быть вызван размножением ядовитых организмов, свидетели этого явления, жители поселка Рыбачий, обратились к ученым.

Пробы воды с желтой взвесью были собраны и доставлены в лабораторию гидробиологии Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН и внимательно изучены нами.

Целью этого исследования было выяснение причин феномена «желтого прилива» в Авачинском заливе и оценки его возможных последствий для морской экосистемы водоема.

Материалы и методы исследования

Пробы воды из полосы «желтого прилива» были собраны с берега вручную в пластиковые контейнеры. После отстаивания в течение нескольких часов в верхней части контейнеров скапливался концентрат из желтой массы подобно скоплению сливок на поверхности молока. Этот концентрат помещался на предметное стекло в каплю чистой воды и изучался в световых микроскопах Olympus CX-31 и VX-43. Микрофотографии выполнялись с помощью цифровой фотонасадки DCM 130.

Изученные образцы хранятся в КФ ТИГ ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский).

Пыльцевые зерна просчитывали в 1 мл суспензии, после взбалтывания проб морской воды с пылью в контейнерах. Для количественной оценки содержания пыльцы в прибрежной полосе бухты Крашенинникова приняли, что содержание пыльцы в 1 мл соответствует таковому на 1 см² водной поверхности в полосе «желтого прилива».

В Охотском море пробы из поверхностного водного слоя были отобраны батометром Нискина, а толща воды от дна до поверхности облавливалась сетью Джели D=0.37 m (S = 0.107467). Глубина в местах отбора проб составляла от 4 до 51 м. Пробы отобраны в мае-июле 2005 г., в июле 2006, 2010 и 2011 гг. Как в батометрических, так и в сетных пробах пыльцу подсчитывали в камере Нажотта объемом 1 мл.

Результаты исследования и их обсуждение

После внимательного изучения водных проб, выяснилось, что их столь яр-

кая и необычная окраска вызвана вовсе не «цветением» опасных микроводорослей. На самом деле у берегов Авачинской губы скопилось огромное количество пыльцы кедрового стланика *Pinus pumila* (Pallas) Regel (рис. 1-Б), которая и окрасила воду в желтый цвет [6]. По нашим оценкам с учетом площади окрашенной в желтый цвет полосы равной 2250 м² в прибрежной полосе в это время находилось около 1800 млрд. пыльцевых зерен общей массой около 11 кг. Пыльца образовала плотную массу в прибрежье благодаря тому, что ее зерна были связаны мицелием хитридиевого гриба предположительно рода *Rhizophyidium* Schenk ex Rabenh (рис. 1 В-Г), разные виды которого паразитируют на пыльце сосны.

Отдел Chytridiomycota, в состав которого входит класс хитридиомицеты (*Chytridiomycetes*), считается примитивной исходной группой в царстве грибов со слабо развитым мицелием. Это преимущественно водные (морские и пресноводные) организмы, реже встречаются в почве. Они могут быть паразитами на водорослях, других грибах, беспозвоночных животных, реже – на наземных растениях, или сапротрофами на субстратах, содержащих хитин, целлюлозу или кератин [1].

Таксономическая заметка. Относительно недавно таксономический статус и объем обнаруженного в наших пробах гриба рода *Rhizophyidium* был пересмотрен. На основе генетических данных показано, что классический род включает несколько разных таксонов. Для большей части относящихся к нему видов описаны новые роды и семейства в составе нового порядка *Rhizophydiales*, а оставшиеся представители рода *Rhizophyidium* включены в отдельное семейство *Rhizophydiaceae*, существенно сокращенное в объеме по сравнению с более ранними трактовками [8]. Дальнейшие исследования обнаружили еще большее генетическое разнообразие порядка *Rhizophydiales*, что позволило описать дополнительно целый ряд новых родов и семейств в его составе [9]. Но среди этого множества новых таксонов для нас интересны представители рода *Rhizophyidium* в его современной трактовке и нового рода *Globomyces* Letcher из нового семейства *Globomycetaceae*, поскольку, например, *Globomyces pollinis-pini* (A. Braun) Letcher (ранее известный как *Rhizophyidium pollinis-pini* (A. Braun) Zopf) поселяется на плавающей в воде пыльце сосны, а кедровый стланик и представляет собой один из видов сосны. Известно также, что *Rhizophyidium mammillatum* (A. Braun) A. Fisch обитает на сосновой пыльце в качестве сапрофита [1].

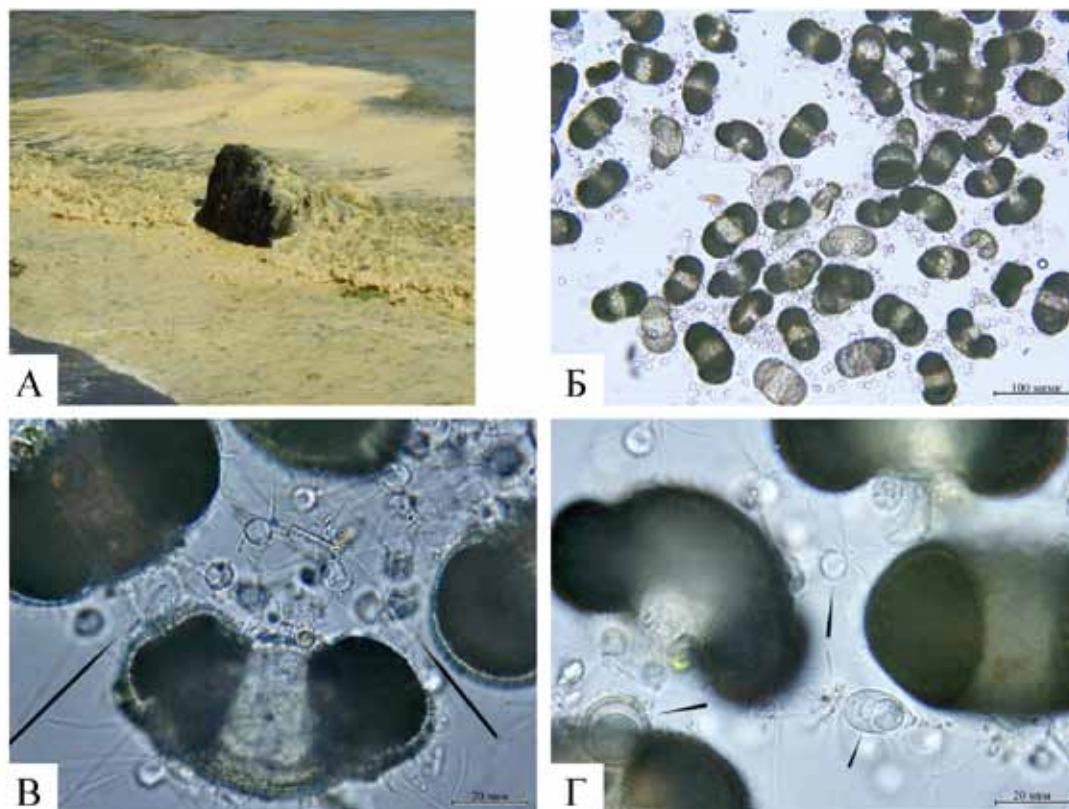


Рис. 1. Пыльца кедрового стланика в прибрежной зоне Авачинской губы:
 А – полоса «желтого прилива»; Б – пыльца кедрового стланика из полосы «желтого прилива»;
 В и Г – мицелий хитридиевого гриба рода *Rhizophyidium* (указан черными стрелками)

К сожалению, в нашем случае определить какие именно хитридиевые грибы поселились на пыльце и когда произошло ее заражение (прижизненно во время цветения наземного растения, или после попадания пыльцы в воду) не представляется возможным.

Заметим, что помимо грибов в изученных водных пробах были обнаружены также относительно немногочисленные фрагменты морских водорослей-макрофитов: зеленых ульвовых (*Chlorophyta*, *Ulvales*), красных церамиевых (*Rhodophyta*, *Ceramiales*), ряда бурых водорослей (*Ochrophyta*, *Phaeophyceae*), слишком мелких для проведения видовой идентификации, а также единичные представители диатомовых водорослей. Однако их присутствие было столь незначительным, что не влияло ни на цвет, ни на консистенцию изученной взвеси, содержащей пыльцу кедрового стланика.

Как известно, пыльца разных видов растений может разноситься воздушными потоками на значительные расстояния. Это зависит, прежде всего, от строения пыльцевых зерен, в том числе от наличия воздушных полостей, придающих пыльце летучесть. Согласно А.Н. Сладкову [7], ве-

роятная дальность заноса пыльцы ветром может составлять для лиственницы (*Larix Miller*) несколько сотен метров, для сосны (*Pinus Linnaeus*) — 500–1700 км, для ели (*Picea A. Dietrich*) — 300–400 км, для пихты (*Abies Miller*) — 1250–1300 км, для березы (*Betula Linnaeus*) и ольхи (*Alnus Miller*) — 250–300 км. Пыльца трав разносится ветром в пределах ареала. Часто пыльца березы (рис. 2-А) и ольхи (рис. 2-Б) попадает в пробах планктона из камчатской прибрежной акватории Охотского моря и Авачинской губы. Реже в тех же пробах можно встретить пыльцу хвойных (рис. 2-В), шиповника (*Rosa rugosa Thunberg*) (рис. 2-Г) и различных представителей астровых (рис. 2-Д, Е).

Очевидно, скопление пыльцы наземных растений в морской воде – вполне обычное природное явление, ведь растения образуют пыльцу ежегодно. За многотысячелетний период существования морских водоемов на их дне скопилось так много осадков, содержащих пыльцу, что она уже давно стала объектом исследования специализированной науки – маринопалинологии. Так что наблюдавшийся нами пыльцевой «желтый

прилив», скорее всего, вовсе не был уникальным. Вероятно, степень его выраженности может сильно варьировать в зависимости от различных природных факторов, и чаще всего он может оказаться просто незамеченным. По крайней мере, в 2015 г. подобное массовое скопление пыльцы в прибрежной зоне Авачинской губы не отмечено. Связано ли это с погодными условиями, с количеством выделенной пыльцы кедрового стланика, растущего на побережье, или с особенностями жизненного

цикла хитридиевых грибов как «соучастников» процесса формирования ее скоплений на поверхности воды, также остается пока не выясненным.

Помимо Авачинского залива пыльцевые зерна были найдены также в других прибрежных акваториях Камчатского полуострова, как в поверхностном слое (в этом случае пробы воды отбирали батометром) (рис. 3-А), так и в толще воды, в планктонных пробах, отобранных сетью Джели, вдоль всего охотоморского побережья Камчатки (рис. 3 Б).

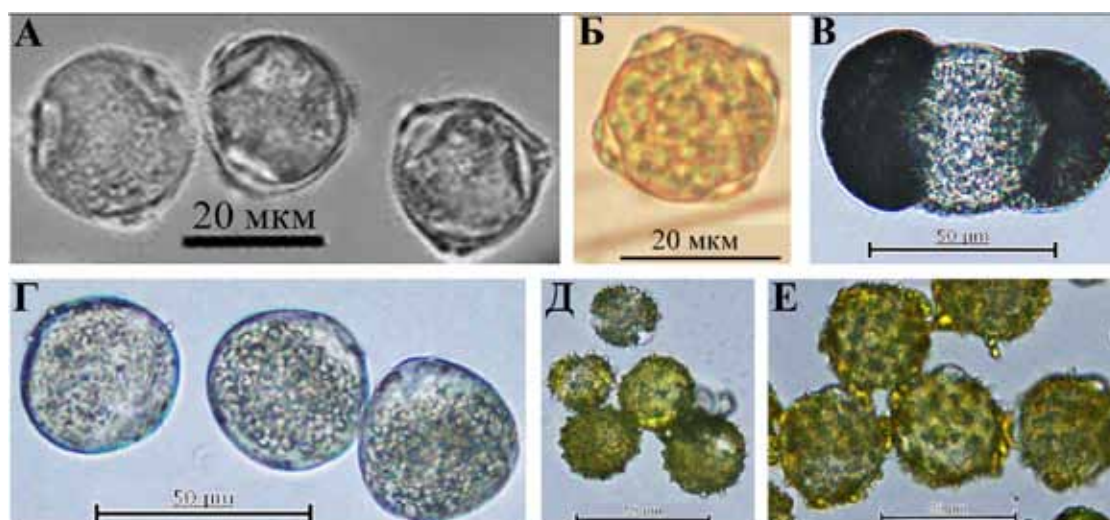


Рис. 2. Образцы пыльцы:
А – березы; Б – ольхи; В – хвойных; Г – шиповника; Д и Е – астровых

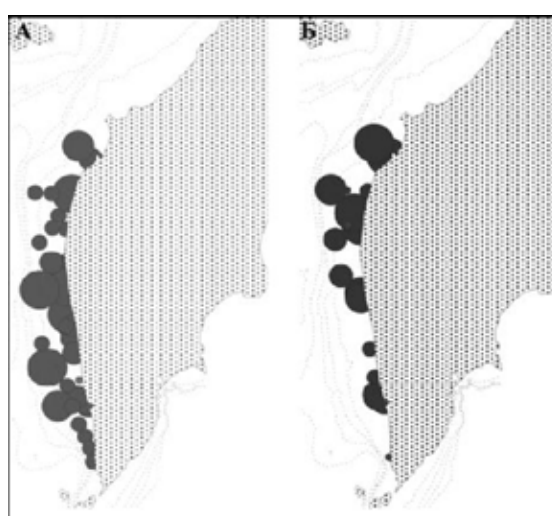


Рис. 3. Пример распределения пыльцы в прибрежной акватории Охотского моря в летний период:
А – поверхностный слой; Б – толща воды 0 м – дно

На поверхности моря количество пылицы может достигать 1-9 млн кл./м³, что в пересчете на биомассу в единице площади морской поверхности составляет 0.5-4.0 мг/м². Принимая содержание органического углерода в пылице равное 7% [2], нетрудно посчитать, что в летний период с пылью выносятся в море 0.4-2.8 мг органического вещества на 1 м² прибрежной морской акватории.

Для водной толщи, которая облавливается сетью Джели эти оценки скромнее. Количество пылицы в слое от 0 м до дна можно оценить в интервале от 100 до 300000 кл./м³. Соответственно ее биомасса не превышает 1.6 мг/м³. Принимая площадь охотоморской акватории у берегов Камчатки до изобаты 50 м, где в основном встречается пыльца, равной 3800 км², можно предположить, что ежегодно в период цветения деревьев и кустарников с пылью в море приносится от 3 до 6 т органического углерода.

Возникает закономерный вопрос: приносит ли такое скопление биоорганической массы в прибрежной зоне экологический ущерб, или, напротив, является благом для морских экосистем? Полагаем, что по сравнению с «цветением» токсичных микроводорослей, в нашем случае ущерб, даже если он имеется, минимален.

Во-первых, пыльца наземных растений не только не ядовита, но и имеет весьма значительную питательную ценность, содержит белки, богатые незаменимыми аминокислотами, жиры, углеводы, витамины, минеральные вещества. Во-вторых, сведения о токсичности хитридиевых грибов из водных местообитаний также отсутствуют, хотя некоторые наземные виды могут вызывать болезни высших растений: чёрную ножку капустной рассады (*Olpidium brassicae* (Woronin) P.A. Dang), рак картофеля (*Synchytrium endobioticum* (Schilb.) Percival) и т.п. [3].

Но при всей благополучности «желтого прилива», вызванного скоплением пылицы, избыточная эвтрофикация все же ведет к нарушению экологического равновесия морских водоемов, в особенности бухт закрытого типа. Как было отмечено Г.В. Коноваловой [4], «цветные приливы» как разновидность сильного незакономерного цветения воды представляют собой один из показателей такого нарушения. Органические вещества, в особенности растворенные, могут иметь большое значение для развития токсичных приливов, т.к. усиливают рост водорослей, вызывающих цветение воды. Кроме того, «цветные приливы» сами

являются мощным фактором органического загрязнения моря. Поэтому они объективно рассматриваются одновременно и как результат и как процесс общего эвтрофирования морских экосистем [4].

Заключение

В ходе данного исследования выяснена причина необычного природного явления в Авачинском заливе (восточное побережье Камчатки), наблюдавшегося летом 2014 года и названного «желтым приливом». Оказалось, что у берегов Авачинской губы скопилось огромное количество пылицы кедрового стланика *Pinus pumila*, которая и окрасила воду в желтый цвет. Пыльца образовала плотную массу в прибрежье благодаря тому, что ее зерна были связаны мицелием хитридиевого гриба *Rhizophyidium*. По сравнению с классическим «цветением» токсичных микроводорослей, такой «желтый прилив» не представляет опасности для гидробионтов и наземных потребителей морепродуктов, поскольку ни пыльца, ни паразитирующие на ней хитридиевые грибы не являются ядовитыми. Однако такое явление нельзя признать совсем безвредным для экосистем морских водоемов закрытого типа из-за избыточной массы органики, вызывающей нарушение их равновесного состояния.

Список литературы

1. Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л. Водоросли и грибы: учебник для высших учебных заведений. Т. 1. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.
2. Библиотека по медицине. Sohmet.ru: URL: <http://sohmet.ru/> (дата обращения 30.09.2015).
3. Жизнь растений. Т. 2. Грибы (под ред. М.В. Горленко) – М.: Просвещение. – 1976. – 479 с.
4. Коновалова Г.В. «Красные приливы» у восточной Камчатки (Атлас-справочник). – Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчат», 1995. – 56 с.
5. Куренков И.И. Красный прилив в Авачинской бухте // Рыб. хоз-во. – 1974. – № 4. – С. 20–21.
6. Лепская Е.В., Селиванова О.Н. Пыльца как источник органического вещества в прибрежных морских экосистемах // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: тезисы докл. XV Международной науч. конф. (Петропавловск-Камчатский, 18-19 нояб. 2014 г.). Камчатпресс. – 2014. – С. 149-152.
7. Сладков А.Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. – М.: Наука. – 1967. – 270 с.
8. Letcher P.M., Powell M.J., Churchill P.F., Chambers J.G. Ultrastructural and molecular phylogenetic delineation of a new order, the Rhizophydiales (Chytridiomycota) // Mycol. Res. – 2006. – V. 110. – № 8. – P. 898-915.
9. Letcher P.M., Vélez C.G., Barrantes M.E., Powell M.J., Churchill P.F., Wakefield W.S. Ultrastructural and molecular analyses of Rhizophydiales (Chytridiomycota) isolates from North America and Argentina // Mycol. Res. – 2008. – V. 112. – № 7. – P. 749-782.