



УДК 574.587: 574.24

ЗООБЕНТОС ЧУКОТСКОГО МОРЯ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

КИРИЕВСКАЯ

Дубрава Владимировна

*Новгородский государственный университет имени
Ярослава Мудрого, dubrava.kirievskaya@gmail.com*

Ключевые слова:
зообентос
Чукотское море
биомасса
биоразнообразие
поллютанты

Аннотация: Чукотское море представляет собой арктический регион, где последнее время наблюдаются быстрые изменения в экосистеме. Бентос, анализируемый в статье, является одним из наиболее чувствительных индикаторов этих изменений, вызванных как природными, так и антропогенными факторами. В оценку состояния бентоса Чукотского моря были положены данные, взятые за последние 30 лет. Анализ основывался на опубликованной литературе, базах данных и материалах полевых работ автора. На базе проанализированного материала современное состояние бентоса Чукотского моря отличается высоким видовым разнообразием по сравнению с остальными восточно-арктическими морями. Пространственное распределение биомассы донных беспозвоночных, как и их качественный состав, носит крайне неравномерный характер и определяется множеством факторов: глубиной, температурой и геохимическим составом грунтов, гидродинамикой и т. п. Также в последнее время в связи с изменением климата наблюдается тенденция переселения более теплолюбивых видов на север. Что же касается антропогенной нагрузки, то до сих пор ЧМ относится к акватории с низкой антропогенной нагрузкой. Течения, воздушные потоки, ледовый и айсберговый разнос не только приносят в экосистему загрязняющие вещества, но и выносят, т. е. способствуют ее очищению. Основная потенциальная опасность исходит от планируемой разработки месторождений нефти и газа и морского транспорта. Так, например, бентос вокруг нефтяных скважин «Бургер» и «Клондайк» характеризуется повышенным содержанием ртути. В статье описывается механизм воздействия поллютантов (ТМ, ХОС и ПАУ) на бентос. Опасность увеличения антропогенной нагрузки ставит задачу дополнительного выделения на акватории особо уязвимых и ценных зон для последующего придания им особого охранного статуса.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 12 августа 2016 года

Подписана к печати: 4 июля 2017 года

Введение

Чукотское море (ЧМ) представляет собой уникальный регион, находящийся на стыке двух океанов – Тихого и Северного Ледовитого. Различные водные массы обуславливают смешанный характер фауны в этом регионе (Ушаков, 1952). Кроме того, глобальное изменение климата и увеличение темпов разработки нефти и газа в Арктике ставят вопрос о том, что же будет с экосистемой ЧМ в ближайшем будущем. Чтобы ответить на данный вопрос, нами был изучен важный компонент экосисте-

мы ЧМ – зообентос. Зообентос – один из ключевых компонентов трофической цепи. Кроме того, он является хорошим индикатором всех изменений, происходящих во всей водной толще, на протяжении длительного периода времени (Arctic Ocean..., 2008).

Несмотря на довольно продолжительный период исследования донной экосистемы ЧМ, начавшийся еще в конце XIX века, она до сих пор слабо изучена (Сиренко, 2006). Основной проблемой является недостаточное в настоящее время совместное изучение акватории ЧМ в целом, как, например,

советско-американский проект «Экология и динамика арктических морских экосистем» – БЕРПАК, предоставивший нам огромный объем доступной информации в своих публикациях (Results of..., 1992). Существует на сегодня достаточно много программ по изучению донной фауны ЧМ: «РУСАЛКА» (осуществляющая исследования для понимания причин и следствий климатических изменений в тихоокеанском секторе Северного Ледовитого океана), CAMIDA CAB (проводящая мониторинг бентоса и геохимической обстановки на участке нефтяного месторождения), CSESP (изучающая экосистему американского сектора ЧМ) и. д. Но в основном они направлены на изучение отдельных конкретных участков, а не акватории в целом. С целью проведения оценки распространения биомассы и биоразнообразия бентоса на всей акватории ЧМ автором был собран и проанализирован материал из разных источников (до 2012 г.). Для изучения потенциальных перемен в структуре донных сообществ в статье были описаны возможные факторы антропогенной нагрузки на бентосных беспозвоночных и выявлены современные тенденции в изменениях донных биоценозов.

Материалы

В работе были использованы материалы, полученные в экспедициях на ЧМ в 1988 и 1993 гг. в рамках советско-американского проекта БЕРПАК (Экология и динамика арктических морских экосистем); в 2004, 2005 и 2009 гг. в рамках совместного российско-американского экспедиционного проекта «РУСАЛКА», данные экспедиции ВНИИОкеангеология по российскому сектору Чукотского моря за 2006 г., данные за 2001, 2002, 2003 гг. из архивной базы данных SBI (Shelf Basin Interaction). Также информация о бентических, геоморфологических, гидрологических и антропогенных компонентах экосистемы ЧМ была взята из различных атласов АУДЮБОН, ИНСРОП, Экологического атласа Арктики; интернет-сайтов программ по изучению: RUSALCA, COMIDA, PacMARS, DBO, SBI; интернет-сайтов программ по изучению Арктики: NOAA, AMAP, CAFF, INSROP и др.; от руководителей лаборатории Университета Мэрилэнда, США, Ж. Гребмаер и Л. Купера, а также из различных публикаций.

Методы

Количественные пробы бентоса отбирались дночерпателями (площадью 0.1 м² и 0.25 м²) в нескольких повторностях на каждой станции, животных промывали через сито размером ячеей 1 мм² и фиксировали раствором формалина для последующего определения видового состава. Биомассу донных сообществ («сырую биомассу») рассчитывали исходя из индивидуальных масс организмов, фиксированных формалином. Таксономический состав, численность и биомасса бентоса была пересчитана для площади в 1 м².

Всего было проанализировано 400 бентосных проб, отобранных с различных участков ЧМ. Для обработки информации использовался пакет Microsoft EXEL. Карты строились в среде ArcGIS 10 с применением модуля Spatial Analyst.

Результаты

Анализ распределения макрозообентоса

ЧМ является одним из самых мелководных морей Арктики, соответственно, доля фитодетрита, поступающего на дно из поверхностных слоев водной толщи, должна быть там высокой по сравнению с другими арктическими морями. Именно поэтому при площади, почти в три раза меньшей, чем площадь Баренцева моря, биоресурсы зообентоса ЧМ уступают баренцевоморским лишь менее чем в полтора раза (Денисенко и др., 2010).

Распределение биомассы донных организмов ЧМ носит крайне неравномерный характер (рис. 1). Наиболее высокая биомасса характерна для юго-восточной части моря, к северу от Берингова пролива доходящая до 4231 г/м², среднее значение биомассы данного участка ~1500 г/м². Наименьшая биомасса характерна для его северной, более глубоководной части. В прибрежных районах биомасса бентоса и разнообразие периодически сокращаются в результате размыва льда (Conlan and Kvitek, 2005) и поступления пресных вод. В результате воздействия аляскинских и анадырских прибрежных вод, беринговоморских шельфовых вод бентосная биомасса неоднородна, но в основном невысока – от десятков до первых сотен метров на квадратный метр площади. В устьях рек биомасса бентоса в основном меньше, чем на акватории с исключительно морскими водами и условиями (Jørgensen et al., 1999).

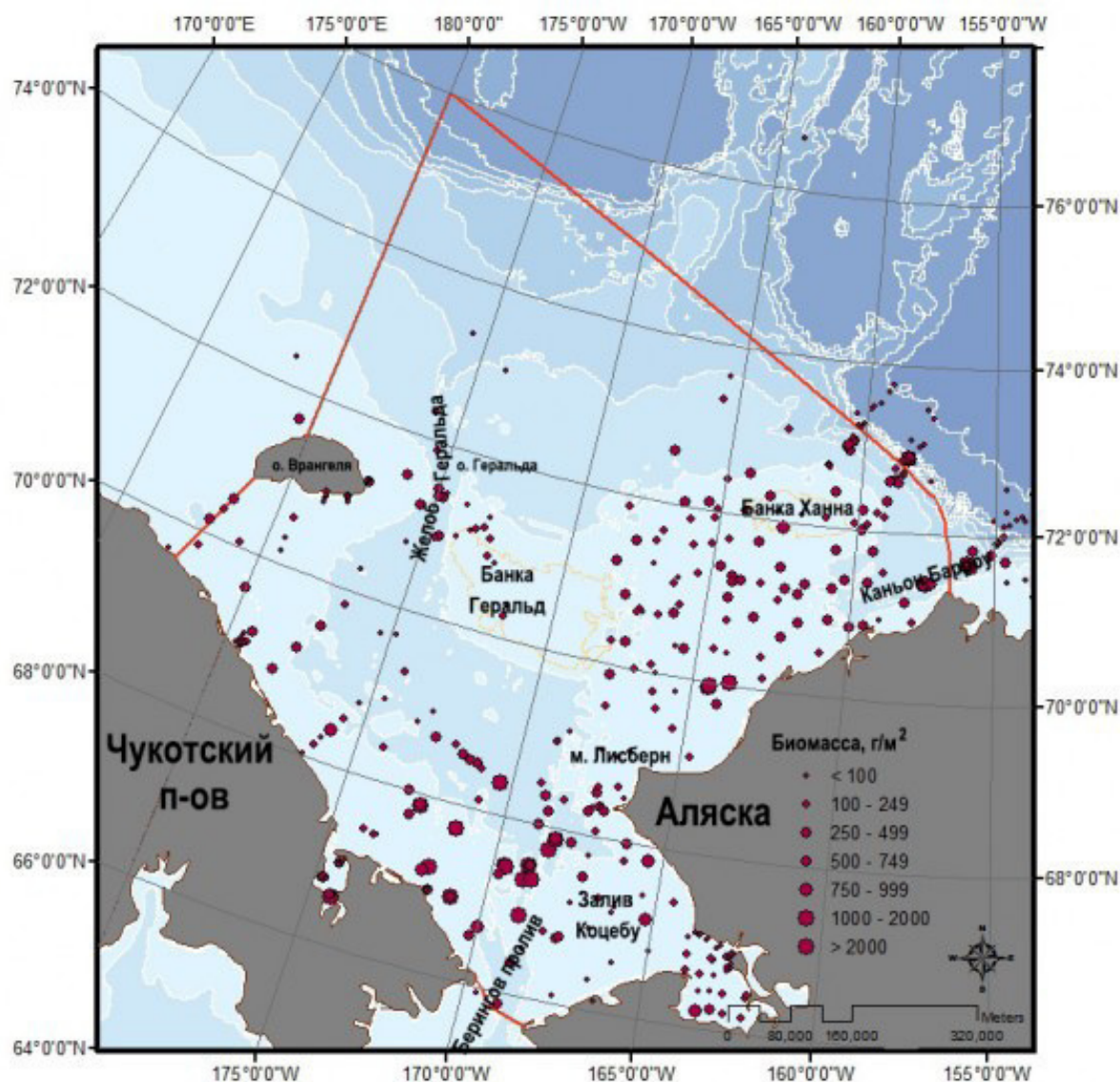


Рис. 1. Пространственное распределение биомассы зообентоса ЧМ (г/м²)
Fig. 1. Zoobenthic biomass spatial distribution (g/m²) in the Chukchi Sea

Определяющее влияние на качественный и количественный состав бентоса оказывают температура грунтов и придонного слоя воды, глубина бассейна (MacDonald et al., 2009), геоморфологическое расположение биоценоза, гидродинамика, тип и гранулометрический состав донных осадков (Grebmeier and Barry, 1991), геохимический состав донных осадков и придонной воды (Schonberg et al., 2014; Dunton et al., 2014). Так, мы можем констатировать, что в каньонах (желобах) Барроу и Геральда наблюдаются относительно высокие значения биомассы зообентоса – до 4400 г/м² и до 600 г/м² соответственно, в отличие от биомасс бентоса банок Ханна и Геральда, характеризующихся относительно низкими значе-

ниями – 10–130 г/м² и 50–120 г/м² соответственно. Также в основном относительно низкие значения биомассы характерны для осадков с высоким содержанием песчаной фракции. Так, в заливе Коцебу, где преобладают осадки с высоким содержанием песка, за исключением участков, находящихся в зоне аляскинских прибрежных вод с высоким содержанием органического углерода, значения биомассы бентоса не велики – от 25–250 г/м². В то же время осадки с низким содержанием песка Южно-Чукотской равнины соответствуют высокой биомассе бентоса – 450–750 г/м². Однако здесь также большое значение имеет и глубина, и другие факторы, так, например, на наиболее тонкодисперсных осадках на больших глу-

бинах биомасса бентоса не будет высокой. В открытой части ЧМ средняя биомасса зообентоса составляет примерно 300 г/м². Биомасса бентоса (как численность и биоразнообразие) падает с глубиной (за исключением ситуации желобов, где влияние оказывают геоморфологический и гидродинамический факторы). Так, на севере ЧМ с падением глубины бентосная масса меньше 100 г/м², биомасса в районе самой северной станции пробоотбора составляет около 10 г/м².

Донные биоценозы ЧМ имеют высокое видовое разнообразие (1435 видов) по сравнению с другими восточно-арктическими морями: 1143 – в море Лаптевых, 1008 – в Восточно-Сибирском море (Сиренко, 2010). Основную часть донной фауны ЧМ составляют эврибионтные, широко распространенные формы. Наибольший вклад в биоресурсы донных беспозвоночных ЧМ вносят 9 видов. Пять из них относятся к классу двустворчатых моллюсков, составляющих более 50 % биоресурсов зообентоса. Наибольшую значимость среди моллюсков имеет *Macoma calcaria*, *Ennucula tenuis*, *Astarte borealis*, *Nuculana radiata* и *Yoldia hyperborea*. На долю полихет, а также иглокожих приходится примерно по 11 % всех биоресурсов моря (Денисенко и др., 2010). Также здесь распространены и ракообразные. На северо-востоке их численность достигает до 21 %, обеспечивая им 3-е место по распространению после моллюсков и полихет с иглокожими (Schonberg et al., 2014).

Для ЧМ, так же как для других арктических морей, омывающих Евразию, характерно поясное распределение доминирующих групп беспозвоночных (Northern Sea..., 1998). Литоральная зона практически лишена населения. На глубине 5–8 м селятся макрофиты. На твердых грунтах с большим количеством гравийно-галечного материала преобладают бокоплавы и фауна видов-обрастателей, характерная для сходных глубин и грунтов других прибрежных арктических районов. На мягких грунтах, на заиленном песке и гальке (до глубин 5–6 м) наблюдаются морские тараканы; глубже – преобладают многощетинковые черви и/или асцидии (Голиков, 2010). Вдоль берегов Аляски и Чукотки, на галечном и заиленном песчаном грунте глубиной 30–50 м (юго-восточная часть ЧМ) располагаются баянусы (Сиренко и др., 2009).

Население основных площадей дна, занятых илистыми грунтами на глубине 30–50 м, очень близко к населению всех арктических морей на соответствующих глубинах. Основ-

ными формами являются: двустворчатые моллюски *M. calcaria*, *E. tenuis*, *N. pernula*, *Y. hyperborea*, офиуры *Ophiura sarsi*, *Ophiosten sericeum*, а глубже черви pp. *Golfingia*, *Echiurus* и полихеты сем. *Maldanidae*, морские звезды *Ctenodiscus crispatus*. Распределение биомассы двустворчатых моллюсков напоминает распределение общей биомассы зообентоса (Денисенко и др., 2010).

На юге центрального и юго-восточного районов ЧМ (плоских аккумулятивных равнин) отмечено существование особо высокопродуктивных бентосных сообществ с экстремально высокой биомассой и высоким биоразнообразием. Высокая биомасса в данном районе обусловлена доминированием крупных двустворчатых моллюсков *E. tenuis* и *M. calcaria*. Существование таких высокопродуктивных сообществ, скорее всего, является результатом влияния богатых биогенами круговоротов воды, поступающих через восточную часть Берингова пролива, зарождающихся в северо-западной части Берингова моря (Сиренко и др. 2009). На аккумулятивной равнине, расположенной на юго-востоке от высокопродуктивного сообщества перечисленных моллюсков, по биомассе преобладают моллюски рода *Nuculana* и офиур *O. sarsi*, но по численности преобладают многощетинковые черви *Sternaspis scutata*, двустворчатые моллюски *Nuculana* sp., *Thyasiridae* gen. sp. и амфиподы. В районе впадины, тянущейся вдоль Чукотского полуострова, характеризующейся пониженной гидродинамической активностью и высокой степенью аккумуляции, располагается сообщество двустворчатых моллюсков рода *Nuculana* и многощетинковых червей *Maldane sarsi*, которое также представляет собой обедненный вариант сообществ двустворчатых моллюсков, где большую роль играют черви-грунтоеды. На плоских аккумулятивных равнинах юго-западной части ЧМ по биомассе доминируют двустворчатые моллюски *Y. hyperborea*, *M. calcaria* и *Astarte* sp. По численности же преобладают многощетинковые черви: *Scalibregma inflatum*, *Paraninoe minuta* и *Chaetozone* spp.

На абразионных террасах, склонах и вершинах подводных возвышенностей, представленных плотными песчанистыми грунтами, по биомассе начинают доминировать офиуры, почти равномерно присутствующие на акватории ЧМ, хотя по численности преобладают полихеты родов *Chaetozone*, *Nephtys* и двустворчатые

моллюски рода *Nuculana*. На вершине банки Геральда и на ее склонах расположен биоценоз бокоплавов, в инфауне под галькой – немногочисленные двустворчатые моллюски и офиуры. На склоне банки, примерно от 10 до 25 км от ее центра, биоразнообразие повышается, в биоценозах доминируют двухстворчатые моллюски и полихеты (Голиков, 2010; Кириевская и др., 2012). В сообществе банки Ханна доминируют двустворчатые моллюски, затем идут бокоплавы, на склонах встречаются также полихеты.

В районе материкового побережья Чукотского п-ова, в побережье о-вов Геральда и Врангеля на грунтах с большим количеством гравийно-галечного материала располагается сообщество видов-обрастателей с доминированием асцидий, мшанок и губок. У о-вов Врангеля и Геральда наблюдаются скопления голотурий рода *Psolus*. На севере, в желобе Геральда, локально доминируют полихеты (*M. sarsi*, *Nicomache lumbricalis*, *Nephtys ciliata*), офиуры (*O. sarsi*) и сипункулиды (*G. margaritacea*), также там были встречены в обилии мягкие кораллы, мшанки, губки (Сиренко и др., 2006).

На севере и в центре ЧМ по биомассе преобладают грунтоеды с доминированием червей *Golfingia* sp., *Echiurus* sp., *Maldanidae* var. и морских звезд *C. crispatus*. По численности преобладают амфиподы, фораминиферы, многощетинковые черви.

На северо-востоке ЧМ наибольшей биомассой обладают двухстворчатые моллюски *M. calcarea* и *N. pernula* и сипункулида *G. margaritacea*. По распространению доминируют полихеты *M. sarsi*, *Owenia* cf. *assimilis*, моллюски *N. pernula*, *Musculus discors* и ракообразные *Brachydiastylis resima*, *Pontoporeia femorata*.

В восточной части моря и в Беринговом проливе отмечены голотурии и плотные поселения морских ежей. У мыса Лисберн доминируют двухстворчатые моллюски *Musculus niger*. Вдоль побережья Аляски на глубине 13–19 м доминируют полихеты (Сиренко, 2009). В заливе Коцебу доминируют полихеты *S. scutata* и двухстворчатые моллюски *Nuculana radiata* (Feder, 2007).

Асцидии, морские ежи, усоногие раки, амфиподы и актинии формируют скопления преимущественно в южной части моря, в зоне наибольшей динамики вод, причем, судя по расположению локальных максимумов биомассы для этих групп, они, как правило, не накладываются друг на друг (Денисенко и др., 2010).

В целом в пространственном распределении видового состава зообентоса сотрудниками ЗИН РАН выявлена тенденция замещения сообществ с доминированием организмов-фильтраторов, обитающих в основном в самой южной и крайней северо-западной частях моря, на сообщества детритофагов-собирателей, которые обитают в западной и юго-западной частях моря. Грунтоеды доминируют в восточной и северо-восточной частях моря. Наиболее высокие биомассы хищников совпадают с местами скопления животных-фильтраторов. Основу донных сообществ составляют устойчивые популяции бентосных животных с медленной сменой поколений (Денисенко и др., 2010).

Что касается вопросов воздействия на экосистему ЧМ изменения климата и антропогенной деятельности, то уязвимость экосистемы ЧМ (с небольшими глубинами и короткими пищевыми цепями) к изменениям окружающей среды считается высокой (Grebmeier et al., 2006). Хотя анализ бентосных данных в ЧМ пока не отмечает существенных изменений за последние 30 лет, Б. И. Сиренко указывает на локальное проникновение относительно тепловодных тихоокеанских видов: краба *Telmessus cheiragonis* и *Oregonia grasilis* и двухстворчатого моллюска *Pododesmus macrochisma*, что указывает на потепление ЧМ (Сиренко, 2007). Таким образом, потенциальными последствиями изменения климата для бентоса ЧМ являются сдвиги в его видовом составе и численности на север (Grebmeier, 2012). Можно предположить, что в будущем тренд движения бореальных видов на север будет сохраняться, вытесняться будут более крупные арктические виды. Наряду с этим будет наблюдаться тенденция сокращения биомассы бентоса из-за уменьшения количества и качества органического материала, попадающего из водной толщи на дно, вследствие развития фитопланктонных сообществ (Kedra et al., 2015).

Ведущие факторы изменений в бентосных сообществах – изменение климата и, особенно, антропогенное воздействие – могут быть причиной необратимых изменений в сообществах, приводящих к коллапсу.

Антропогенная нагрузка. Источники и основные пути поступления поллютантов

До сих пор ЧМ относится к акватории со сравнительно низкой антропогенной нагрузкой по сравнению с остальными арктическими морями. Тем не менее в настоящее время основными источниками антропогенного загрязнения Чукотского моря, роль

которых, по-видимому, со временем будет возрастать, являются морской транспорт и добыча нефти и газа на шельфе. Опасность исходит от планируемой разработки

месторождений нефти и газа у побережья Аляски. Осенью 1989 и 2012 гг. делались попытки бурения скважины «Бургер» и в 1989 г. – скважины «Клондайк» (рис. 2).

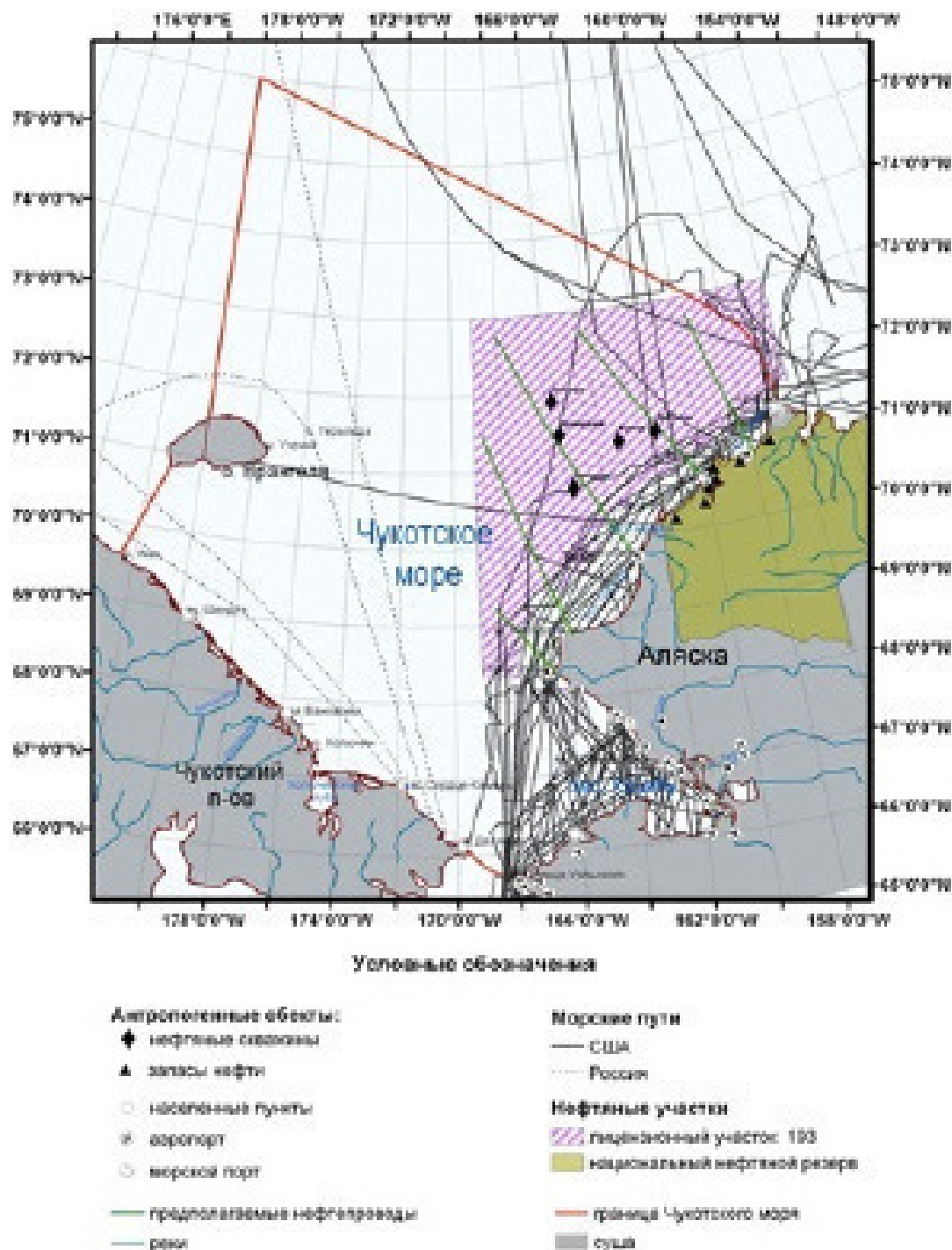


Рис. 2. Источники загрязнения ЧМ

Fig. 2. Water pollution sources of the Chukchi Sea

Хотя в настоящее время бурильные работы в ЧМ приостановлены, тем не менее это продолжает нести одну из главных потенциальных угроз для изучаемой акватории. На рис. 2 показаны основные траектории судов, месторождения нефти и газа,

а также аэропорты, морские порты и населенные пункты, являющиеся источниками поступления в ЧМ поллютантов. Загрязняющие вещества в ЧМ поступают также извне. Основные пути переноса загрязняющих веществ в ЧМ показаны на рис. 3.

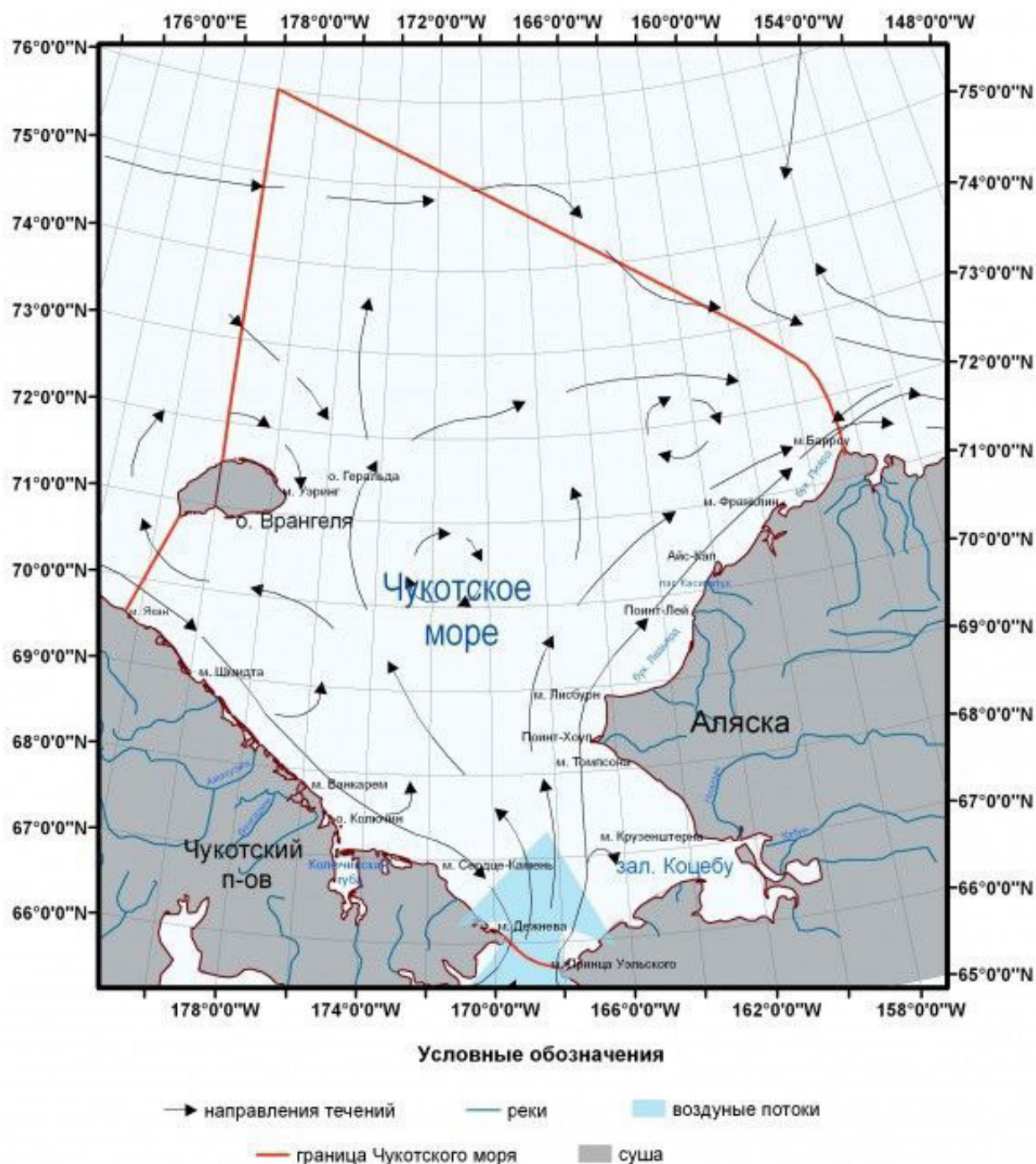


Рис. 3. Основные пути поступления (распространения) в ЧМ загрязняющих веществ
Fig. 3. The main ways of contaminants distribution in the Chukchi Sea

Течения, воздушные потоки, ледовый и айсберговый разнос могут не только приносить в экосистему загрязняющие вещества, но и выносить, т. е. способствовать ее очищению. Также течения играют большую роль при распространении (пространственном и временном) загрязнения по акватории. Особенно для ЧМ это актуально в случае нефтяных разливов. Другая важная черта в общей картине поведения и рас-

пределения загрязнителей в ЧМ состоит в их локализации на границе раздела водных масс с атмосферой и дном, где концентрации всех загрязнителей значительно превосходят соответствующие уровни в морской воде. Еще 20 лет назад во всех основных компонентах ЧМ: донной биоте, придонной воде, донных осадках, — были обнаружены тяжелые металлы, ароматические хлорированные углеводороды и другие загрязняю-

щие вещества, несмотря на значительную удаленность ЧМ от существующих тогда зон активной хозяйственной деятельности (Израэль и др., 1992). В настоящее время эта тенденция сохраняется. Так, Дж. Трефри (Trefry et al., 2014) в северо-восточном секторе ЧМ обнаружил повышенные содержания ртути, меди и свинца в поверхностном слое донных осадков в 500 м от скважин «Бургер» и «Клондайк», А. Л. Фокс определил повышенные содержания ртути в эпибентосе: брюхоногих моллюсках и крабах (Fox et al., 2012).

Воздействие загрязнителей на бентос

Тяжелые металлы, хлорорганические соединения, полиароматические углеводороды обладают канцерогенными свойствами. Соответственно эти соединения являются губительными для бентоса, поскольку накапливаются в организме беспозвоночных и способны вызывать необратимые изменения, патологии.

Как известно, бентос накапливает в себе вещества из окружающей среды. Mg, Sr, Zn являются элементами сильного биологического накопления; Ba, Ga, Ni, Pb, Hg относятся к элементам среднего биологического захвата; Cd, Zr, Ti, V – элементы слабого и очень слабого биологического захвата (Лисицин, 1986). Хлорорганические соединения приоритетнее всего накапливают полихеты, мягкие кораллы, губки, неподвижные сестонофаги (Арктические моря, 2004).

Аккумуляция нефти в морских организмах происходит за счет биосорбции на контактирующих с водой органах и тканях (покровные ткани, жабры и др.) и ее поглощения в процессе питания. Концентрация нефтяных углеводородов, как и любых загрязнителей, в живых организмах определяется соотношениями между скоростями их поступления, интенсивностью ферментативного разложения в органах и тканях, а также скоростями их выведения. Так, образцы тканей наиболее распространенных представителей бентоса Чукотского моря – моллюсков и полихет, отобранные в месте буровой скважины «Клондайк», содержали только 5 % и 10 % соответственно от общей концентрации ПАУ поверхностных осадков (Neff et al., 2010). Способность отдельных видов бентосных организмов к самовыведению органического загрязнения из организма подтверждается исследованиями брюхоногих моллюсков Чукотского моря (*Neptune heroes*) Р. Харвеем (Harvey et al., 2012). Благодаря липофильным свойствам нефтяные углеводороды также тяготеют к органам и тканям с повы-

шенным содержанием жиров и липидов, в том числе к мембранным структурам. Так, аккумуляция ПАУ беспозвоночных наиболее характерна для их репродуктивных органов и пищеварительных желез, обогащенных липидами (Harvey et al., 2014). Вредное биологическое действие сырой нефти на бентос проявляется как в результате физического контакта нефтяной пленки с организмами, обитающими в донных осадках и на берегу, так и за счет токсических свойств растворенных в морской воде или аккумулированных в донных осадках углеводородов.

Опасность освоения нефтегазовых месторождений, увеличение объемов транспортировки нефти обуславливают необходимость разработки природоохранных мер защиты экосистемы ЧМ. Среди таких мер предлагается выделение особо уязвимых и ценных зон для последующего придания им особого охраняемого статуса и/или введения в них специального режима для разных видов деятельности. Такую роль играют особо охраняемые природные территории (ООПТ) ЧМ (рис. 4).

Объектов с охранным статусом в ЧМ и его прибрежных территориях явно не достаточно. Так, в настоящее время менее чем 2 % арктической береговой зоны Аляски защищено от будущих разработок энергоносителей (Arctic Marine Synthesis, 2010). С морскими ООПТ дело обстоит еще хуже, особенно в российской части акватории. Многие экологически важные места обитания Аляски в связи с разработкой нефтегазовых месторождений могут исчезнуть уже в ближайшие годы. Так, например, пока существуют временные отсрочки для открытия лицензионных участков для разработки нефти поблизости от Вайнрайта (лагуна Касегалук). Эти отсрочки, однако, истекут на протяжении следующих нескольких лет, что вновь откроет эти области для разработки. В настоящее время 3 миллиона акров области расположения национального нефтяного резерва сданы в аренду для разработки нефти и газа. Никакой постоянной защиты живой природы сейчас пока не существует (Arctic Marine Synthesis, 2010). Также для защиты некоторых, наиболее экологически значимых участков проводятся комплексные экологические исследования. Одна из задач этих исследований – научно обосновать необходимость присвоения этой территории особого охранного статуса и вывести ее из лизинга. Примером такой природно-защитной деятельности служит проект COMIDA, основной це-

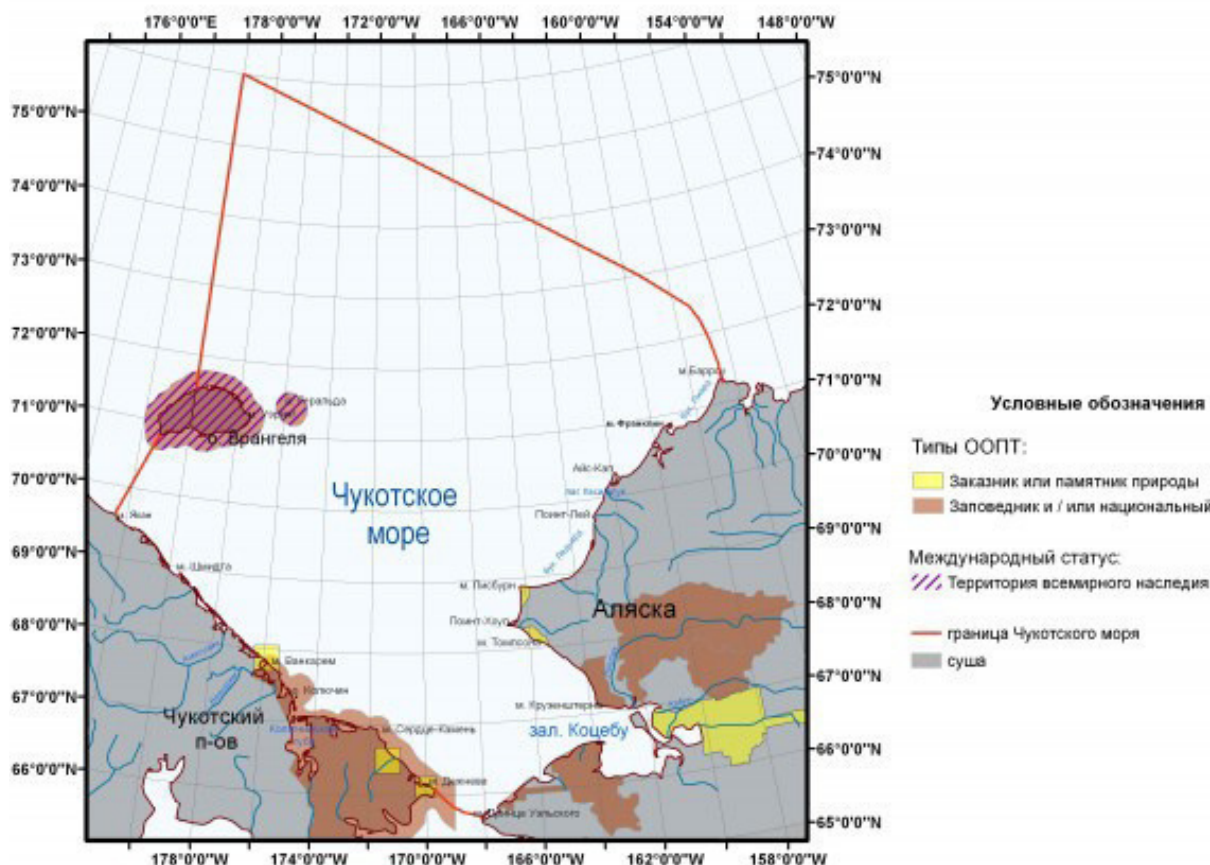


Рис. 4. Прибрежные и морские ООПТ Чукотского моря

Fig. 4. Protected Areas in the Chukchi Sea

лю которого является научно подтвердить необходимость присвоения акватории банки Ханна особого статуса, не позволяющего разработку нефтегазовых месторождений на этой территории (民事再生で借金返済, 2015). Таким образом, проведенный литературный анализ показывает, что наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос оценки уязвимости экосистемы ЧМ к разливам нефти и связанных с этим явлений.

Заключение

ЧМ характеризуется крайне неравномерным распределением бентосных беспозвоночных. Экстремально высокие значения биомассы обусловлены влиянием богатых биогенами круговоротов воды, характерны для юго-восточной части ЧМ, к северу от Берингова пролива. Наименьшие значения биомассы отмечаются на севере ЧМ, где идет понижение глубин. Наибольший вклад в биомассу бентоса вносят моллюски (около 50 %). Учитывая мелководность и выровненный характер морского дна, распределение донных беспозвоночных носит ярко выраженный континуальный характер. Донные

сообщества отличаются друг от друга по большей части различной перекомбинацией доминирующих видов. Данные по исследованию бентоса ЧМ не выявляют существенных изменений в донных сообществах за последние 30 лет. Однако многие факты свидетельствуют о наметившихся изменениях в структуре бентосных сообществ. На состояние и состав бентоса значительное влияние оказывает изменение климата, в результате которого из Берингова моря поступают более тепловодные виды. Пока у исследователей недостаточно данных, чтобы говорить о темпах и масштабах этого явления, но тренд движения бореальных видов на север (в ЧМ) будет сохраняться, также будут вытесняться и арктические виды, что неизбежно повлечет смену сообществ. Помимо природных факторов, на увеличение нагрузки на бентосные сообщества могут оказывать влияние и антропогенные факторы. Так, главным потенциальным источником поступления загрязняющих веществ, губительных для бентоса, является деятельность по разработке нефтегазового месторождения в районе се-

верного склона Аляски и морские перевозки. В связи с этим наиболее актуальным для дальнейшего исследования является вопрос оценки уязвимости бентоса ЧМ от разливов нефти и связанных с этим последствий.

Библиография

- Арктические моря / Ред. И. С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 468 с.
- Голиков А. Н., Сиренко Б. И., Голиков А. А., Петряшев В. В., Гагаев С. Ю. Распределение донных беспозвоночных мелководий Чукотского моря по материалам водолазных исследований // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. Т. 2. Исследования фауны морей. М.: Наука, 2010. С. 56.
- Денисенко С. Г., Сиренко Б. И., Петряшев В. В. Биоресурсы зообентоса в Чукотском море // Тезисы Международной научной конференции «Морские исследования полярных областей Земли в Международном полярном году 2007/08» 21–23 апреля 2010 г. СПб., 2010. С. 239–240.
- Израэль Ю. А., Цыбань А. В. Исследование экосистем Берингова и Чукотского морей. Вып. 3. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 182 с.
- Кириевская Д. В., Кийко О. А., Шилин М. Б. Оценка современного состояния донной экосистемы юго-восточной части Чукотского моря // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2012. № 23. С. 117–125.
- Лисицын А. П. Биодифференциация вещества в океане и осадочный процесс // Биодифференциация осадочного вещества в морях и океанах. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1986. С. 3–66.
- Сиренко Б. И. Состояние изученности фауны Чукотского моря // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. Т. 2. Исследования фауны морей. СПб.; М.: Наука, 2010. С. 163–198.
- Сиренко Б. И., Гагаев С. Ю. Изучение бентосной фауны в Чукотском море – история и новые результаты экспедиций по программе «Русалка» в 2004 и 2005 годах. 2006. URL: http://www.arctic.noaa.gov/arctic/russian-american/2004_2005/russian.pdf (дата обращения 11.08.2016).
- Сиренко Б. И., Гагаев С. Ю. Необычное обилие макробентоса и тихоокеанские вселенцы в Чукотском море // Биология моря. 2007. Т. 33. № 6. С. 399–407.
- Сиренко Б. И., Денисенко С. Г., Гагаев С. Ю., Петряшев В. В. Донные сообщества шельфа Чукотского моря глубже 10 м // Экосистемы и биоресурсы Чукотского моря. 2009. Вып. 64 (72). С. 32–56.
- Ушаков П. В. Чукотское море и его донная фауна // Крайний Северо-Восток Союза ССР. (Б. м.): Изд-во АН СССР, 1952. Т. 2: Фауна и флора Чукотского моря / Под ред. П. В. Ушакова. С. 5–82.
- Arctic Marine Synthesis. Atlas of the Chukchi and Beaufort Seas / Melanie A. Smith. Audubon Alaska, Anchorage. January 2010. URL: <http://ak.audubon.org/conservation/arctic-marine-synthesis-atlas-chukchi-and-beaufort-seas> (дата обращения 07.06.2017).
- Arctic Ocean Synthesis: Analysis of Climate Change Impacts in the Chukchi and Beaufort Seas with Strategies for Future Research / Editors: R. Hopcroft, B. Bluhm, R. Grandinger; Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks. 2008. 184 p.
- Conlan, K.E. and R.G. Kvitek. Recolonization of soft-sediment ice scours on an exposed Arctic coast. Marine Ecology Progress Series. 2005. Vol. 286. P. 21–42.
- Dunton K. H., Grebmeier J. M., Trefry J. H. The benthic ecosystem of the northeastern Chukchi Sea: An overview of its unique biogeochemical and biological characteristics // Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2014. Vol. 102. P. 1–8. doi: 10.1016/j.dsr2.2014.01.001.
- Feder H. M., Jewett S. C. & Blanchard A. Southeastern Chukchi Sea (Alaska) macrobenthos // Polar Biol. 2007. Vol. 30. P. 261–275.
- Fox A. L., Hughes E. A., Trocine R. P., Trefry J. H., McTigue N. D., Lasorsa B. K., and Konar B. Regulation of Zink and Biomagnification of Mercury in Biota of Northeastern Chukchi Sea // Chukchi Sea Offshore Monitoring in Drilling Area (COMIDA): Chemical and Benthos Final Report. Bureau of Ocean Energy Management, Anchorage, AK. P. 67–90 (7/1/2012-11/28/2012).
- Grebmeier J. M. Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and Sub-Arctic seas // Rev. Mar. Sci. 2012. Vol. 4. P. 63–78.
- Grebmeier J. M., Barry J. P. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: a benthic perspective // J. Mar. Syst. 1991. P. 495–518.
- Grebmeier J. M., Cooper L. W., Feder H. M., and Sirenko B. I. Ecosystem Dynamics of the Pacific-Influenced Northern Bering and Chukchi Seas // Progress in Oceanography. 2006. Vol. 71. P. 331–361.
- Harvey H. R., Taylor K. A., Pie H. V., Mitchelmore C. L. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons in Chukchi Sea biota and sediments and their toxicological response in the Arctic cod, *Boreogadus saida* // Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography. 2014. Vol. 102. P. 32–55. doi: 10.1016/j.dsr2.2013.07.013
- Jørgensen L. L., Pearson T. H., Anisimova N. A., Gulliksen B., Dahle S., Denisenko S. G., Matishov G. G. Environmental influences on benthic associations of the Kara Sea (Arctic Russia) // Polar Biol.

1999. Vol. 22. P. 395–416.
- Kedra M., Moritz C., Choy E., David C., Degen R., Duerksen S., Ellingsen I., Górka B., Grebmeier J., Kirievskaya D., van Oevelen D., Piwosz K., Samuelsen A., & Węślawski J. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs // *Polar Research*. 2015. Vol. 34. doi: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.23775>.
- MacDonald, Ian R., et al. Benthic macrofauna and megafauna assemblages in the Arctic deep-sea Canada Basin // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2010. P. 136–152.
- Neff, J. M. Fate and Effects of Water Based drilling Muds and Cuttings in Cold Water Environments // Report to Shell Exploration and Production Company. Houston, Texas, May 25. 2010. 287 p.
- Brude O. W., Moe K. A., Bakken V., Hansson R., Larsen L. H., Løvås S. M., Thomassen J., Wiig Ø. Northern Sea Route Dynamic Environmental Atlas / Editors: Brude O. et al. // INSROP working paper № 99. 1998. 58 p.
- Benthic progress and bottom fauna // Results of the Third Joint US–USSR Bering and Chukchi Seas Expedition (BERPAC). Summer 1988. U. S. Fish and Wildlife Service. 1992. P. 241–251.
- Schonberg S. V., Janet T. C., and Kenneth H. D. Distribution, abundance, biomass and diversity of benthic infauna in the Northeast Chukchi Sea, Alaska: Relation to environmental variables and marine mammals // *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 102. P. 144–163.
- Trefry J. H., Trocine R. P., Cooper L. W., Dunton, K. H. Trace metals and organic carbon in sediments of the northeastern Chukchi Sea // *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, Vol. 102. 2014. 18–31. DOI: 10.1016/j.dsr2.2013.07.018
- 民事再生で借金の返済 . URL: www.comidacab.org (дата обращения 15.12.2015).

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00733 мол_а.

THE CHUKCHI SEA ZOOBENTHOS: CONTEMPORARY CONDITIONS AND TRENDS IN ANTHROPOGENIC INFLUENCE.

KIRIEVSKAYA

Dubrava Vladimirovna

Novgorod State University, dubrava.kirievskaya@gmail.com

Key words:

zoobenthos
the Chukchi Sea
biomass
biodiversity
pollutants

Summary: The Chukchi Sea is a key region where rapid changes of the Arctic environment have been observed recently. Benthos of the Chukchi Sea is a sensitive indicator of these changes. In addition, the benthos can be used as an indicator of the anthropogenic load on the marine environment. A lot of researches have been conducted in the different parts of the Chukchi Sea. In this paper we summarized all the data collected for the last 30 years to evaluate contemporary conditions of the Chukchi Sea benthos as well as to discuss a potential response of the benthic ecosystem to the anthropogenic load. The Chukchi Sea zoobenthos is characterized by relatively high biodiversity compared to the seas of the western Arctic Ocean. The spatial distribution of zoobenthos is non-uniform. It is caused by a lot of factors: depth, bottom and sediment temperature, geochemical structure of the sediments, hydrodynamics, etc. Present environmental conditions of the Chukchi Sea biota can be considered to be close to the average long-term norms. By the reason of climate change scientists started to observe northing displacement of subarctic and temperate species of the benthic ecosystem. The Chukchi Sea is still included into the area with low anthropogenic pressure. The main potential threat for the Chukchi sea benthos results from continued oil and gas exploration and sea transport. For example, benthos around oil-wells (the Burger and the Klondike) contains pollutants at a high concentration. The risk of rising anthropogenic load on the Chukchi Sea ecosystem poses the problem to additionally identify vulnerable areas of increased ecological significance for later receiving conservation status.

Received on: 12 August 2016

Published on: 4 July 2017

References

- Arctic Marine Synthesis. Atlas of the Chukchi and Beaufort Seas, Melanie A. Smith. Audubon Alaska, Anchorage. January 2010. URL: <http://ak.audubon.org/conservation/arctic-marine-synthesis-atlas-chukchi-and-beaufort-seas> (data obrascheniya 07.06.2017).
- Arctic Ocean Synthesis: Analysis of Climate Change Impacts in the Chukchi and Beaufort Seas with Strategies for Future Research, Editors: R. Hopcroft, B. Bluhm, R. Grandinger; Institute of Marine Science, University of Alaska, Fairbanks. 2008. 184 p.
- Benthic progress and bottom fauna, Results of the Third Joint US–USSR Bering and Chukchi Seas Expedition (BERPAC). Summer 1988. U. S. Fish and Wildlife Service. 1992. P. 241–251.
- Brude O. W., Moe K. A., Bakken V., Hansson R., Larsen L. H., Løvås S. M., Thomassen J., Wiig Ø. Northern Sea Route Dynamic Environmental Atlas, Editors: Brude O. et al., INSROP working paper No. 99. 1998. 58 p.
- Conlan, K.E. and R.G. Kvitek. Recolonization of soft-sediment ice scours on an exposed Arctic coast. Marine Ecology Progress Series. 2005. Vol. 286. P. 21–42.
- Denisenko S. G. Sirenko B. I. Petryashev V. V. Zoobenthos bioresources of the Chukchi Sea, Tezisy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii «Morskie issledovaniya polyarnyh oblastey Zemli v Mezhdunarodnom polyarnom godu 2007/08» 21–23 aprelya 2010 g. SPb., 2010. P. 239–240.
- Dunton K. H., Grebmeier J. M., Trefry J. H. The benthic ecosystem of the northeastern Chukchi Sea: An overview of its unique biogeochemical and biological characteristics, Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2014. Vol. 102. P. 1–8. doi: 10.1016/j.dsr2.2014.01.001.
- Feder H. M., Jewett S. C. & Blanchard A. Southeastern Chukchi Sea (Alaska) macrobenthos, Polar Biol. 2007. Vol. 30. P. 261–275.
- Fox A. L., Hughes E. A., Trocine R. P., Trefry J. H., McTigue N. D., Lasorsa B. K., and Konar B. Regulation of Zink and Biomagnification of Mercury in Biota of Northeastern Chukchi Sea, Chukchi Sea Offshore Monitoring in Drilling Area (COMIDA): Chemical and Benthos Final Report. Bureau of Ocean Energy Management, Anchorage, AK. P. 67–90 (7/1/2012–11/28/2012).
- Golikov A. N. Sirenko B. I. Golikov A. A. Petryashev V. V. Gagaev S. Yu. Distribution of shallow waters benthic invertebrates of the Chukchi Sea on the diving research materials, Fauna i zoogeografiya

- bentosa Chukotskogo morya. T. 2. Issledovaniya fauny morey. M.: Nauka, 2010. P. 56.
- Grebmeier J. M. Shifting patterns of life in the Pacific Arctic and Sub-Arctic seas, *Rev. Mar. Sci.* 2012. Vol. 4. P. 63–78.
- Grebmeier J. M., Barry J. P. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: a benthic perspective, *J. Mar. Syst.* 1991. P. 495–518.
- Grebmeier J. M., Cooper L. W., Feder H. M., and Sirenko B. I. Ecosystem Dynamics of the Pacific-Influenced Northern Bering and Chukchi Seas, *Progress in Oceanography*. 2006. Vol. 71. P. 331–361.
- Harvey H. R., Taylor K. A., Pie H. V., Mitchelmore C. L. Polycyclic aromatic and aliphatic hydrocarbons in Chukchi Sea biota and sediments and their toxicological response in the Arctic cod, *Boreogadus saida*, *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 102. P. 32–55. doi: [10.1016/j.dsr2.2013.07.013](http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.07.013)
- Izrael' Yu. A. Cyban' A. V. Study of the Bering Sea and the Chukchi Sea ecosystems. Vyp. 3. SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 182 p.
- Jørgensen L. L., Pearson T. H., Anisimova N. A., Gulliksen B., Dahle S., Denisenko S. G., Matishov G. G. Environmental influences on benthic associations of the Kara Sea (Arctic Russia), *Polar Biol.* 1999. Vol. 22. P. 395–416.
- Kedra M., Moritz C., Choy E., David C., Degen R., Duerksen S., Ellingsen I., Górski B., Grebmeier J., Kirievskaya D., van Oevelen D., Piwosz K., Samuelsen A., & Węśławski J. Status and trends in the structure of Arctic benthic food webs, *Polar Research*. 2015. Vol. 34. doi: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v34.23775>.
- Kirievskaya D. V. Kiyko O. A. Shilin M. B. Assessment of contemporary condition of the bottom ecosystem of the southern Chukchi Sea, *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2012. No. 23. P. 117–125.
- Lisicyn A. P. Substance bioidentification in the ocean and sedimentation process, *Biodifferenciatsiya osadochnogo veschestva v moryah i okeanah*. Rostov n/D: Izd-vo RGU, 1986. P. 3–66.
- MacDonald, Ian R., et al. Benthic macrofauna and megafauna assemblages in the Arctic deep-sea Canada Basin, *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2010. P. 136–152.
- Neff, J. M. Fate and Effects of Water Based drilling Muds and Cuttings in Cold Water Environments, Report to Shell Exploration and Production Company. Houston, Texas, May 25. 2010. 287 p.
- Repayment of debt in civil rehabilitation. URL: www.comidacab.org (data obrascheniya 15.12.2015).
- Schonberg S. V., Janet T. C., and Kenneth H. D. Distribution, abundance, biomass and diversity of benthic infauna in the Northeast Chukchi Sea, Alaska: Relation to environmental variables and marine mammals, *Deep Sea Research. Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2014. Vol. 102. P. 144–163.
- Sirenko B. I. Denisenko S. G. Gagaev S. Yu. Petryashev V. V. Benthic community (deeper than 10 m) of the Chukchi sea, *Ekosistemy i bioresursy Chukotskogo morya*. 2009. Vyp. 64 (72). P. 32–56.
- Sirenko B. I. Gagaev S. Yu. Study of benthic fauna in the Chukchi Sea - History and new results of «Rusalca» program expeditions in 2004 and 2005. 2006. URL: http://www.arctic.noaa.gov/aro/russian-american/2004_2005/russian.pdf (data obrascheniya 11.08.2016).
- Sirenko B. I. Gagaev S. Yu. Unusual abundance of macrobenthos and Pacific invading species in the Chukchi sea, *Biologiya morya*. 2007. T. 33. No. 6. P. 399–407.
- Sirenko B. I. State of exploration of the Chukchi Sea fauna, *Fauna i zoogeografiya bentosa Chukotskogo morya*. T. 2. Issledovaniya fauny morey. SPb.; M.: Nauka, 2010. P. 163–198.
- The Arctic sea, Red. I. P. Gramberg, V. L. Ivanov, Yu. E. Pogrebickiy. SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2004. 468 p.
- Trefry J. H., Trocine R. P., Cooper L. W., Dunton, K. H. Trace metals and organic carbon in sediments of the northeastern Chukchi Sea, *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, Vol. 102. 2014. 18–31. DOI: [10.1016/j.dsr2.2013.07.018](http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.07.018)
- Ushakov P. V. The Chukchi Sea and its benthic fauna, *Krayniy Severo-Vostok Soyuz SSR. (B. m.): Izd-vo AN SSSR*, 1952. T. 2: Fauna i flora Chukotskogo morya, Pod red. P. V. Ushakova. P. 5–82.