

## 第5回 日露隣接地域生態系保全ワークショップ

### 1 概要

- (1) 開催日：平成31年3月1日 10:30-19:30
- (2) 開催場所：TKP 東京駅日本橋カンファレンスセンター
- (3) 主催：日本国外務省、環境省
- (4) 共催：ロシア天然資源環境省

### 2 開催根拠

本ワークショップ<sup>※1</sup>は、2009年5月、日露政府間において署名された、オホーツク海を始めとする日露の隣接地域における生態系の保全及び持続可能な利用のための協力の具体的な方向性を示した協力プログラム<sup>※2</sup>に基づいて開催された。

#### ※1 日露隣接地域生態系保全協力ワークショップ

2010年4月及び2013年2月、ウラジオストクにて、2015年2月ハバロフスクにて、また2016年10月モスクワにて開催されたワークショップに続く第5回目のワークショップ。2009年3月及び2011年5月には、札幌においてオホーツク生態系保全・日露協力シンポジウムが開催された。

#### ※2 協力プログラムの正式名称

「日本国及びロシア連邦の隣接地域における生態系の研究、保全並びにその合理的及び持続可能な利用の分野に関する日本国政府とロシア連邦政府との間の協力プログラム」

### 3 参加者

【日本側】栗本一輝（外務省欧州局ロシア課事務官）・八木健治（外務省外交実務研究員）・荒木円花（外務省欧州局ロシア課職員）、根田聖児（環境省自然環境局自然環境計画課里地里山保全専門官）、常田健輔（環境省自然環境局自然環境計画課環境専門員）、白岩孝行（北海道大学准教授）、桜井泰憲（北海道大学名誉教授）、加藤秀弘（東京海洋大学名誉教授）、三寺史夫（北海道大学教授）、小林万里（東京農業大学教授）、山村織生（北海道大学准教授）、白木彩子（東京農業大学准教授）、志田修（北海道立総合研究機構企画調整部長）、牧野光琢（中央水産研究所グループ長）、垣内あと（通訳）、アレクサンドル・A・チブレヴィッチ（通訳）

【ロシア側】フォミヌフ・イリーナ・ポリソプナ（ロシア天然資源・環境省国際協力局次長）、クズネツォヴァ・イリーナ・イゴレヴナ（ロシア天然資源・環境省国際協力局二国間協力課専門官）、アバクモフ・アレクサンドル・イヴァノヴィチ（ロシア科学アカデミー極東支部自動化技術・管理プロセス研究所、生物物理学プロセス数学シミュレーション実験室指導員）、カチュル・アナトリー・ニコラエヴィチ（ロシア科学アカデミー極東支

部太平洋地理学研究所地形・生態学研究センター所長)、アンドレフ・アンドレイ・グリゴリエヴィチ(ロシア科学アカデミー極東支部イリチェフ名称太平洋海洋学研究所水化学研究所主任研究員)、オルロワ・タチヤナ・ユーリエヴナ(ロシア科学アカデミー極東支部ジルムンスキイ名称国立海洋生物研究センター海洋微生物実験室副所長兼指導教員)、ブルカノフ・ウラジミール・ニコラエヴィチ(ロシア科学アカデミー極東支部太平洋地理学研究所カムチャツカ支部脊椎動物生態学研究センター主任研究員)、ウテヒナ・イリーナ・ゲンナジエヴナ(マガダンスキイ国立自然保護区科学・研究分野担当副所長)、ウシャコフ・エヴゲニイ・ユーリエヴィッチ(在日本漁業庁代表者)、ラティポフ・ティムール(在日本ロシア連邦大使館経済班アタッシェ・通訳)

#### 4 プログラム

○開会挨拶 外務省欧州局ロシア課長 宮本哲二(代読 外務事務官 栗本一輝)

天然資源・環境省国際協力局次長 フォミヌフ・イリーナ・ポリソブナ

○日本側・ロシア側双方の自己紹介

○セッション1 【海洋物理・化学環境の変化】

1. アバクモフ・アレクサンドル・イヴァノヴィチ「海洋の表面に関する衛星データを使用した数学的シミュレーション方法によるロシアの極東海洋における植物プランクトンの状況分析及び生態系の生物生産性の評価」
2. カチュル・アナトリー・ニコラエヴィチ「オホーツク海及び日本海の大規模海洋生態系に対する汚染及び気候変動の影響比較」
3. アンドレフ・アンドレイ・グリゴリエヴィチ「海洋循環の変化が環境のパラメータ及びオホーツク海の水産資源に与える影響」
4. 三寺史夫(北海道大学 低温科学研究所 教授)「オホーツク海の海洋循環・物質循環と気候変動」

○セッション2 【海洋水産資源】

5. フォミヌフ・イリーナ・ポリソブナ「気候変動が魚類及び鯨類に及ぼす影響(キム・セン・トク氏作成発表の代読)」
6. オルロヴァ・タチヤナ・ユーリエヴナ「ロシア連邦の極東海洋の生物的安全性」
7. 桜井泰憲「北日本における最近の気候変化と主な水産資源の動向」

○セッション3 【鰭脚類・鳥類】

8. ブルカノフ・ウラジミール・ニコラエヴィチ「ロシア極東における鰭脚類に関する現代研究のレビュー」

- 9.山村織生・小林万里「北海道周辺に来遊するゴマフアザラシおよびトドの現況」
10. ウテヒナ・イリーナ・ゲンナジエヴナ「ロシア・オホーツク海タウイ湾におけるオオワシ *Haliaeetus pelagicus* のモニタリング」
- 11.大泰司紀之・白木彩子・中川元「渡り越冬期の海ワシ類について」

## 5 成果

- 日露隣接地域の海域において気候変動下で生じている海洋生態系変化に関する様々な情報を共有することができ、有益なワークショップであった。
- 今回のワークショップでの発表内容については、日露双方の研究者が要旨を作成したうえで、日露2か国語に翻訳し公表する。
- 今後もこのような活動を継続していくことに日露双方の専門家が賛同した。
- ロシア連邦天然資源環境省国際協力局のフォミヌフ次長より、次回はロシアで開催したい旨の発言があった。

## 6 発表要旨

**ОТЧЕТ О ЗАВЕРШЕНИИ РАБОТЫ**  
**5-ГО РАУНДА СЕМИНАРА ПО РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ СОТРУДНИЧЕСТВА**  
**МЕЖДУ ПРАВИТЕЛЬСТВОМ РФ И ПРАВИТЕЛЬСТВОМ ЯПОНИИ В**  
**СОПРЕДЕЛЬНЫХ РАЙОНАХ ДВУХ ГОСУДАРСТВ В СФЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ,**  
**СОХРАНЕНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО/ УСТОЙЧИВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**  
**ЭКОСИСТЕМ**

1. Общие сведения: (1) Дата проведения: 1 марта 2019 г. 10:30 – 19:30, (2) Место проведения: Конференц-центр «ТКР Токио - Нихомбаси», (3) Организатор: Министерство иностранных дел Японии, (4) Соорганизатор: Министерство природных ресурсов и экологии РФ

2. Документальное обоснование проведения: настоящий семинар<sup>\*1</sup> был проведен на основании подписанной в мае 2009 г. Российским и Японским правительствами Программы сотрудничества<sup>\*2</sup>, в которой были определены конкретные направления японо-российского сотрудничества в сфере сохранения и устойчивого использования экосистем в сопредельных районах двух государств, включая Охотское море.

\*1. Семинар по вопросам японо-российского сотрудничества в сфере сохранения экосистем в сопредельных районах двух государств

Настоящий семинар прошел в пятый раз вслед за серией подобных мероприятий, которые состоялись в апреле 2010 г. и в феврале 2013 г. во Владивостоке, в феврале 2015 г. в Хабаровске и в октябре 2016 г в Москве. Кроме того, в марте 2009 г. и в мае 2011 г. в Саппоро был проведен Симпозиум по теме сохранения экосистем Охотского моря и японо-российского сотрудничества в этой области.

\*2. Официальное название Программы сотрудничества – Программа сотрудничества между Правительством Российской Федерации и Правительством Японии в сопредельных районах двух государств в сфере изучения, сохранения, рационального/ устойчивого использования экосистем.

3. Участники: **【Японская сторона】** Кадзуки Куримото, Кэндзи Яги, Мадока Араки (сотрудники отдела России Департамента Европы Министерсва иностранных дел Японии), Сэйдзи Нэда (старший специалист по вопросам охраны природы в сельских деревнях Отдела планирования окружающей природной среды Департамента окружающей природной среды Министерства по вопросам окружающей среды Японии), Кэнсукэ Цунэта (специалист по вопросам окружающей среды Департамента окружающей природной среды Министерства по вопросам окружающей среды

Японии), Такаюки Сираива (доцент Университета Хоккайдо), Хидэхиро Като (Профессор Токийского университета морских наук и технологий), Фумио Мицудэра (профессор Университета Хоккайдо), Мари Кобаяси (профессор Токийского университета сельского хозяйства), Орио Ямамура (доцент Университета Хоккайдо), Сайко Сираки (доцент Токийского университета сельского хозяйства), Осаму Сида (начальник Отдела планирования и координации Хоккайдской исследовательской организации), Мицутаку Макино (начальник группы Национального научно-исследовательского института рыбного хозяйства)

【 Российская сторона 】 Фоминых Ирина Борисовна (заместитель директора Департамента международного сотрудничества), Кузнецова Ирина Игоревна (консультант отдела двустороннего сотрудничества Департамента международного сотрудничества), Абакумов Александр Иванович (научный руководитель лаборатории математического моделирования биофизических процессов Института автоматки и процессов управления ДВО РАН), Качур Анатолий Николаевич (директор Центра ландшафтно-экологических исследований Тихоокеанского института географии ДВО РАН, к.г.н.), Андреев Андрей Григорьевич (ведущий научный сотрудник Лаборатории гидрохимии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН, д.г.н.), Орлова Татьяна Юрьевна (заместитель директора, научный руководитель Лаборатории морской микробиоты Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, к.б.н. ), Бурканов Владимир Николаевич (ведущий научный сотрудник Лаборатории экологии высших позвоночных Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН), Утехина Ирина Геннадьевна (заместитель директора по научно-исследовательской работе Государственного природного заповедника "Магаданский"), Ушаков Евгений Юрьевич (представитель Росрыболовства в Японии), Латыпов Тимур (атташе экономической группы Посольства России в Японии)

#### 4. Программа

○Открытие – Тэцудзи Миямото – начальник отдела России департамента Европы МИД Японии (от его имени со вступительной речью выступил специалист по иностранным делам МИД Японии Кадзуки Куримото), Фоминых Ирина Борисовна (заместитель департамента международного сотрудничества Министерства природных ресурсов и экологии РФ)

○Представление участников японской и российской сторон

○ Сессия I 【Изменения окружающей среды с точки зрения морской физики и химии】

1. Абакумов Александр Иванович - Анализ состояния фитопланктона и оценка биопродуктивности экосистем в дальневосточных морях России методами математического моделирования с использованием спутниковых данных о поверхности океана, 2. Качур Анатолий Николаевич – Сопоставительный анализ влияния загрязнений и изменений климата на морские экосистемы Охотского и Японского морей, 3. Андреев Андрей Григорьевич – Изменения циркуляции морских вод и их влияния на состояние окружающей среды и морские биоресурсы Охотского моря, 4. Фумио Мицудэра (профессор Института низкотемпературных наук Университета Хоккайдо) – Циркуляция вод и веществ в Охотском море и глобальное потепление климата.

○Сессия II 【Морские биоресурсы】 5. Фоминых Ирина Борисовна - Влияние

климатических изменений на морские биологические ресурсы Охотского моря (выступление от имени автора доклада Кима Сен Тока), 6. Орлова Татьяна Юрьевна – Биологическая безопасность в морских акваториях ДВ РФ, 7. Ясунори Сакураи - Ситуация с выловом основных морских ресурсов на севере Японии, связанная с последними изменениями климата.

○Сессия III 【Ластоногие и птицы】 8. Бурканов Владимир Николаевич - Краткий

обзор современных исследований ластоногих на Дальнем Востоке России, 9. Орио Ямамура, Мари Кобаяси – Текущее состояние с сивучами и ларгой в морской акватории Хоккайдо, 10. Утехина Ирина Геннадьевна – Мониторинг белоплечего орлана *Haliaeetus pelagicus* в Тауйской губе Охотского моря, 11. Нориюки Отайси, Сайко Сираки, Гэн Накагава – Численность популяций орланов и их кормовая база в период перелета и зимовки в Японии.

5. ○Результаты: Семинар принес пользу обеим сторонам, предоставив возможности обмена широким спектром информации, касающейся сопредельных районов Японии и России.

○Докладчики составят тезисы своих выступлений, которые будут переведены на русский и японский языки и опубликованы для общего обозрения публики.

○Японские и российские участники договорились продолжать эту деятельность в дальнейшем.

○Заместитель директора Департамента международного сотрудничества Министерства природных ресурсов и экологии РФ И.Б. Фоминых высказалась за проведение следующего раунда семинара в России.

6. Далее представлены тезисы докладчиков.

**海表面の衛星データを活用した数理的モデルによる  
ロシア極東海域生態系植物プランクトンの現状と生物生産評価**

ロシア科学アカデミー極東支部オートメーション・マネジメント研究所  
生物物理現象数理モデル部門

A.I.アバクーモフ（数学物理学博士・研究部長）

S.Ya.パク（工学准博士・研究員）

Yu.G.イズライリスキ（工学准博士・主任研究員）

環境問題における原則的な命題の中でも、生物群の現状をいかに評価し、生態系の機能を今後いかに維持していくかという問題がまず真っ先に挙げられよう。とりわけ植物プランクトンの現況と挙動は、海洋生態系の根本的な評価基準となる。その評価のために、対象水域のほぼ全体に該当するデータを取得し、経時変化をトレースする観察データを積み上げ集計していかなければならない。データの蓄積には地球静止衛星が搭載するスペクトロラジオメータ（分光放射計）が欠かせない。この機材を使って得られたデータは、衛星データバンクに集積され、季節変動・年間変動を校正しながら、植物プランクトンの動態モデルを構築し検証するために用いられる。また観察対象の生物の挙動に地域差があるかどうかとも分かる。

リモートセンシングの最大のデメリットは、衛星から送られる信号が水面にしか届かないことである [McClain et al., 1998; Yamada et al., 2005]。この欠点は、現地調査データとの照合や、衛星データを初期値又は閾値として設定した数理的モデル手法によってある程度克服されている [McClain et al., 1998; Yamada et al., 2005, Smith et al., 2011]。

植物プランクトンの動態を多角的に調査した時、クオリティのばらつきが大きい大量のデータを相手に格闘することになる。この時、数理的モデルを用いると作業を省力化しやすい。植物プランクトンの増殖と活動を多面的に明らかにしていくと、その分布域は非常に多様で、植物界のみならず外部の影響にもさらされやすいことが分かる [Jorgensen, 2009; Williams et al., 2002]。外部の影響とは、水温、光強度、水の成分などである。この分野における数理的モデルの応用範囲は非常に広いが、現在のところ植物プランクトンの上記の機能特性全般に目配りするモデルはおろか、その基本的な機能さえも定式化できていないのが現状である。そのため、数理モデルの構築においては、海洋微生物の一部の



側面を切り取り、深く掘り下げていくことがまず課題となる。

植物プランクトン鉛直分布モデルがあれば、水面のみならず、植物プランクトンが季節変動で集中・分散を繰り返している全深生物量の算定が可能になる。次に、植物プランクトン体内のクロロフィル濃度を計算すれば、単位面積当たりの一次生産量の計算が可能になり、結果対象水域全体の生産量計算が可能になる [Williams et al., 2002]。このように、数理的モデルを使った手法は、既存データを柔軟に応用でき、データの質的向上が期待できる意味で有望である。

では、本研究の手順を紹介する。

- 海水面の衛星データ取得（水温、光強度、クロロフィル濃度）
- 数理的モデルを使った有光層植物プランクトン活性度調査
- 水面の単位面積ごとの植物プランクトン濃度と海洋生態系一次生産評価

## 資料と手法

海水面のクロロフィル濃度をもとにしておよその一次生産量を求めることができる。しかし、生物量の大半が高水深に幅広く分布するので、この試算値は実態からかけ離れている場合が多い。衛星を使った観測でも、表層水近辺のプランクトン濃度をピンポイントで測定するに過ぎないので、植物プランクトンの鉛直分布モデルは有用である。

植物プランクトンの動態プロセスのモデル化作業は、海水を静的にとらえ、垂直な角柱形に切り取ったうえでの作業である。植物プランクトンとミネラル分は、分子拡散、乱流拡散現象によって極めて受動的に移動する。このような移動のほとんどは乱流拡散によるもので、その係数は分子拡散よりも 100 倍以上大きい [Ryabov et al., 2010; Chorin et al., 1992]。植物プランクトン量は、光合成が進むと増加する。太陽光エネルギーと水中ミネラル分が生物量増加の主要因であるが、水温は、植物プランクトン濃度の高低に影響するが、再生産そのものをストップさせることはなく、その緩急を決めるだけである。光合成の必須要素である光強度は逆に、植物プランクトンの増殖を完全にストップさせることもできる。そのため、海水面の光強度と各水深の光強度の経時変化を加味した。こうして出来上がったモデルは、いわゆる reaction-diffusion 方程式をベースにした非線形関数である [Cantrell et al., 2003]。植物プランクトンの静的分布モデル構築では、適応度関数を最適化した上、植物プランクトン密度とミネラル分濃度の反比例説を援用した [Poluektov et al., 1980]。こうして数理モデルを変形させるとき、ミネラル分の供給を「食物刺激」という概念に置き換えた。食物刺激の挙動とは、すなわちミネラル分の密度変化と同じで

あるが、衛星データはミネラル濃度のデータを含んでいないので、あくまでも名目上の尺度である。

植物プランクトン増殖の速度が、様々なファクターによって変わることはモデル（1）で示した。試算用のモデル指標は文献資料で発表されているものを援用した[Ryabov et al., 2010; Murray, 2002; Zvalinskii et al., 2006; Platt et al., 1991]。そして各水深の推定温度分布、光強度分布、ミネラル濃度、植物プランクトン濃度分布を試算した。

## 結果

調査対象海域は北西部（ピョートル大帝湾）を中心とした日本海全体である。

衛星データは、可視赤外域放射計 MODIS から、ロシア科学アカデミー極東支部広域環境衛星モニタリング共同利用センター（CUC）が取得した。CUC は人工衛星 AQUA や TERRA が発信するデータを 24 時間体制で自動受信・処理する。データ処理は米航空宇宙局（NASA）が無料で公開している海色データ処理ソフト（<http://seadas.gsfc.nasa.gov/>参照）で行い、処理したデータは、地球海水面のファイル形式で公表している。CUC のスタッフは、カーゲルのアルゴリズム（Karger's algorithm）、水温分布図と光強度分布図を参考に月別平均クロロフィル a 濃度マップを作成した。

衛星データをもとに、ピョートル大帝湾のクロロフィル濃度変化をモデル化した。このデータを数理モデルに代入し、湾内有光層のクロロフィル濃度と植物プランクトン密度を復元した。特筆されるのは、夏季の植物プランクトン密度とクロロフィル濃度の低下が、栄養物質の欠乏により植物プランクトンが高水深域に移動することによって起きる可能性が高いと分かった点である。

日本海における植物プランクトンの動態と一次生産量を調べるために、2008～12 年の 5 か年の日本海海水面のクロロフィル a 濃度、光強度、水温データを使用した。

日本海の生物地理学分析 [Dobrovolsky et al., 1982] に基づき、季節・位置別の各深度水温変化を追跡する区分線形関数を作成した。すると、海域全体のパラメータ変化は、北西部で始まり南東部に向かって連鎖していくことが分かった。

日本海で 2 地点を抽出し、各水深の基本指標の分布を示した。A 地点は北西部（ピョートル大帝湾）であり、B 地点は日本の南東沿岸部である。A 地点を中心とする北部海域では夏に水温躍層が現れ、その上に表層混合層が形成されたとみられる。この表層混合層では夏から秋の初めにかけて、生物生産が急激に活発になる。南部海域（B 地点）では水深が大きくなるにつれて緩やかに水温も低下し、各水深における生物生産の緩急の差はそれほど

大きくない。

衛星データで見える限り、両地点とも海水面のクロロフィル濃度の変動が逆説的にも見える。8月に濃度が最も低く、1月は夏・秋の数値を上回っているからである。しかし、各水深の植物プランクトン密度分布と生産量には、矛盾がない。1月の植物プランクトン生産量は1年を通じでも最少となっているのである。1年を通して一次生産の季節変動を追跡すると、両地点ともほぼ似たような経過をたどる。

上記のような特徴と動態をもとにして、2008～12年の日本海表層における植物プランクトン24時間・年間生産量分布をそれぞれ計算した [Abakumov et al., 2015]。試算の結果は、天候条件による衛星データ通信条件と、遠隔観測の精度によって異なることを断っておく。

## 結論

数理的モデルは、植物プランクトンをはじめとした生物生産量の変動を測る方法としては、実験による試算と比較してもメリットが大きい。構築したモデルは、生物生産がどのような外的環境要因に影響を受けるか把握することができ、データ不足や現地調査データの整理といったこれまでの研究活動の欠点を補う意味もあり、生態系の現状とその生産量の予測がしやすくなることも視野に入ってくる。

こうして導いた日本海各海域の生物生産量評価は、日本海をはじめ他の海域の先行研究や、世界の海の生産量の概要とも一致する [Zvalinskii et al., 2006]。

モデルデータの信ぴょう性は、生データの信頼性とモデルの完成度による。衛星データの精査を怠らなければ、上記数理モデルは調査対象の現状を正確に反映し、結果も衛星データと同程度の確度であることが証明された。

現在我々は同じような試算をオホーツク海西カムチャッカ大陸棚とベーリング海の一部の海域で行っている。衛星で把握できない栄養物質データの取得に難があるうえ、衛星データそのもののクオリティも大きな問題として残っている。遠隔観測データの精度と信頼性が、我々の試算の信ぴょう性を大きく左右するのはいうまでもない。

## 謝辞

本研究はロシア基礎研究財団研究助成金（プロジェクトNo. 18-01-00213）と2018～2020年ロシア科学アカデミー極東支部基礎研究極東総合研究プログラム助成金（プロジェクトNo. 18-5-051）を得て行われた。

ロシア科学アカデミー極東支部広域環境衛星モニタリング共同利用センターに感謝申し上げます。

### 参考文献

- Cantrell R.S., Cosner C., 2003. Spatial Ecology via Reaction-Diffusion Equations. Wiley and Sons.
- Chorin A.J., Marsden J.E., 1992. A mathematical introduction to fluid mechanics. Springer.
- Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S., 1982. Seas of USSR. MSU Publ., Moscow. (In Russian).
- Jorgensen S.E., 2009. Ecosystem Ecology. A Derivative of Encyclopedia of Ecology. Elsevier, Amsterdam.
- McClain C.R., Cleave M.L., Feldman G.C., Gregg W.W., Hooker S.B., Kuring N., 1998. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research. Sea Technology 39, 10-16.
- Murray J.D., 2002. Mathematical Biology. Springer.
- Platt, T., Caverhill, C., Sathyendranath, S., 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic. Journal of Geophysical Research: Oceans (1978-2012). 96(C8), pp. 15147-15159.
- Poluektov R.A., Pyh Yu.A., Shvytov I.A., 1980. Dynamical models of ecological systems. Gydrometeizdat, Leningrad (In Russian).
- Ryabov A.B., Rudolf L., Blasius B., 2010. Vertical distribution and composition of phytoplankton under the influence of an upper mixed layer. Journal of Theoretical Biology 263, pp. 120-133.
- Smith S.L., Pahlow M., Merico A., Wirtzd K.W., 2011. Optimality-based modeling of planktonic organisms. Limnology and Oceanography. 56, pp. 2080-2094.
- Williams P.J.B, Thomas D.N., Reynolds C.S., 2002. Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems. Blackwell Publishing.
- Yamada K., Ishizaka J. and Nagata H., 2005. Spatial and temporal variability of satellite estimated primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002. J.

Oceanogr. 61, 857–869.

Zvalinskii V.I., Lobanov V.B., Zakharkov S.P., Tishchenko P.Ya., 2006. Chlorophyll, delayed fluorescence, and primary production in the northwestern part of the Sea of Japan. *Oceanology*. 46(1), pp. 23-32.

Abakumov A., Yu. Izrail'sky, S. Park. 2015. Functioning of the phytoplankton in seas and estimates of primary production for aquatic ecosystems // *Developments in Environmental Modelling*. V. 27. P.339-349. DOI:10.1016/B978-0-444-63536-5.00015-6.

**Анализ состояния фитопланктона и оценка биопродуктивности экосистем в дальневосточных морях России методами математического моделирования с использованием спутниковых данных о поверхности океана**

Абакумов А.И., д.ф.-м.н., главный научный сотрудник,

Пак С.Я., к.т.н., научный сотрудник,

Израильский Ю.Г., к.т.н., старший научный сотрудник.

Лаборатория математического моделирования биофизических процессов,  
Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Владивосток, Россия

Одной из первостепенных экологических проблем является оценка состояния водного объекта и перспектив поддержания жизнеспособности его экосистемы. Состояние и жизнедеятельность фитопланктона относится к основным характеристикам водной экосистемы. Для построения такого рода оценок необходимы методы получения данных, пригодные для охвата больших по площади территорий и обработки достаточного числа наблюдений в единицу времени. Они связаны с использованием спектрорадиометров, которыми оборудованы околоземные спутники Земли. Получаемая с их помощью информация формируется в банки спутниковых данных. Это позволяет строить и верифицировать модели динамики фитопланктона, учитывая сезонную и межгодовую изменчивость, а также региональные особенности наблюдаемых объектов.

Существенно ограничивает в применении дистанционные методы зондирования тот факт, что лишь верхний поверхностный слой воды достижим для сигнала, посылаемого со спутника (McClain et al., 1998; Yamada et al., 2005). Это ограничение может быть частично преодолено как с помощью интеграции с контактными (экспедиционными) методами исследований, так и средствами математического моделирования, интерпретирующими спутниковые данные в качестве начальных или краевых условий (McClain et al., 1998; Yamada et al., 2005, Smith et al., 2011).

При исследовании всех аспектов жизнедеятельности фитопланктона мы имеем дело со значительными объемами разнокачественной информации. В этом случае

могут быть эффективно использованы методы математического моделирования. Затрагивая различные аспекты существования и жизнедеятельности фитопланктона, следует помнить, что для него характерна высокая степень неоднородности в смысле пространственного распределения, которая зависит как от биологических механизмов функционирования растительного сообщества, так и от влияния внешней среды (Jorgensen, 2009; Williams et al., 2002). К числу последних относятся температура, освещенность, состав воды и другие. Несмотря на то, что спектр математических моделей в данной области достаточно велик, пока не удастся построить комплексную модель, которая бы учитывала все вышеупомянутые особенности функционирования фитопланктона или хотя бы основные. Поэтому при построении математической модели выбор в пользу детализации того или иного аспекта жизнедеятельности морских микроорганизмов определяется целевой задачей.

Модели вертикального распределения фитопланктона позволяют оценить объем биомассы не только на поверхности, но и в толще воды, где часто сосредотачиваются некоторые виды растительных микроорганизмов, особенно в периоды сезонной изменчивости. В свою очередь расчет содержания хлорофилла в фитопланктоне дает возможность оценить объем вырабатываемой первичной продукции под единицей площади, а, следовательно, продуктивность водоема в целом (Williams et al., 2002). Математико-модельный подход обладает высокой гибкостью при использовании имеющихся данных и весьма перспективен при качественном улучшении состава данных.

Итак, наша схема исследований состоит из следующих шагов.

- Получение спутниковых данных о поверхностном слое моря (температура, освещенность, концентрация хлорофилла).
- Исследование функционирования фитопланктона в толще воды (в фотическом слое) с помощью математических моделей.
- Оценка содержания фитопланктона и первичной продукции морской экосистемы под единицей площади водной поверхности.

### **Материалы и методы**

По содержанию хлорофилла в поверхностном слое можно приблизительно

оценить первичную продукцию. Но результаты таких расчетов могут оказаться далеки от истинных, поскольку очень часто большая часть наличествующей биомассы скрыта под толщей воды. Подспутниковые же измерения могут дать лишь точечные оценки концентраций микроорганизмов на глубине ниже поверхностного слоя. Для решения подобных проблем используется модель вертикального распределения фитопланктона.

Считаем, что моделируемый процесс жизнедеятельности фитопланктона происходит в вертикальном неподвижном столбе воды. Фитопланктон и минеральные вещества пассивно перемещаются вследствие молекулярной и микротурбулентной диффузии. Микротурбулентная диффузия играет основную роль, коэффициенты турбулентной диффузии на несколько порядков больше, чем молекулярной (Ryabov et al., 2010; Chorin et al., 1992). Рост массы фитопланктона происходит в процессе фотосинтеза. Энергия солнца и минеральные вещества в водной среде – основные источники пополнения биомассы. Изменение удельных концентраций фитопланктона зависит и от температуры водной среды, но эта зависимость не определяет основную направленность репродуктивного процесса, а носит регулирующий характер. Интенсивность падающего света, непосредственно участвующего в фотосинтезе, напротив, играет существенную роль в формировании скоростных показателей роста фитопланктона вплоть до его прекращения. Поэтому мы учитываем освещенность поверхности океана и ее распределение по глубине во времени. Наша модель основана на уравнении «реакция–диффузия» и является нелинейной в своей функциональной части (Cantrell et al., 2003). Для моделирования стационарных распределений фитопланктона нами предложен подход, основанный на оптимизации функции приспособленности и гипотезе об обратном влиянии плотности биомассы фитопланктона на концентрацию минеральных веществ (Poluektov et al., 1980). В этой модификации модели минеральное питание заменено понятием «пищевой стимул». Пищевой стимул ведет себя подобно плотности минеральных веществ, но является нормированной характеристикой, поскольку спутниковые данные не содержат сведений о концентрациях минеральных веществ.

Зависимость удельной скорости роста биомассы фитопланктона от выделенных влияющих факторов определена аналогично модели (1). Модельные параметры для



расчетов получены из литературных данных (Ryabov et al., 2010; Murray, 2002; Zvalinskii et al., 2006; Platt et al., 1991). Были сделаны пробные расчеты возможных распределений по глубине температуры, освещенности (ФАР), минеральных веществ и фитопланктона.

## **Результаты**

Объектами исследования оказались северо-западная часть Японского моря (залив Петра Великого) и Японское море в целом.

Спутниковые данные получены Центром коллективного пользования (ЦКП) регионального спутникового мониторинга окружающей среды Дальневосточного отделения (ДВО) РАН от радиометра MODIS. ЦКП регионального спутникового мониторинга окружающей среды ДВО РАН осуществляет круглосуточный прием и обработку данных со спутников Aqua и Terra в автоматическом режиме. Обработка производится с помощью программного комплекса SeaDAS, свободно-распространяемого NASA (см. сайт <http://seadas.gsfc.nasa.gov/>). Результаты обработки представляются в виде обзорных изображений поверхности океана. Сотрудники ЦКП построили усредненные помесечно карты концентрации хлорофилла «а», рассчитанные с использованием алгоритма Кардера, карты температуры и освещенности.

По спутниковым данным модельно определяется динамика содержания хлорофилла в водах залива Петра Великого. На основе этих данных с помощью математических моделей восстановлено содержание хлорофилла и фитопланктона в фотическом слое в заливе. В частности, оказалось, что понижение концентраций фитопланктона и хлорофилла летом связано, вероятно, с заглублением фитопланктона из-за дефицита питания в поверхностном слое.

Для оценок состояния фитопланктона и величины первичной продукции в Японском море использованы данные о концентрациях хлорофилла «а», фотосинтетически активной радиации и температуре в поверхностном слое Японского моря за пятилетний период, с 2008 по 2012 г.

Исходя из биогеографической дифференциации Японского моря (Dobrovolsky et al., 1982), мы определили кусочно-линейную функцию изменения температуры по

глубине в зависимости от сезона и местоположения наблюдаемого района. Изменение параметров в масштабе моря происходит в направлении от северо-западной к юго-восточной части моря.

Показаны распределения основных рассчитываемых характеристик по глубине в двух выбранных точках Японского моря. Точка А находится в северо-западной части моря (зал. Петра Великого), а точка Б – в юго-восточной части, у берегов Японии. В северных районах (точка А) летом образуется слой термоклина, являющийся причиной и индикатором формирования выше этого слоя верхнего перемешанного слоя. В верхнем перемешанном слое в течение лета и частично осенью происходит интенсивное биопродуцирование. На юге (точка Б) ход температуры по глубине обладает меньшими градиентами, процесс производства биопродукции меняется с глубиной не так значительно. В обеих точках можно отметить парадоксальное, казалось бы, поведение концентраций хлорофилла на поверхности моря по спутниковым данным: в августе они наименьшие, а январские значения превосходят летние и осенние. Но учет распределения хлорофилла по глубине и расчет продукции «ставит все на свои места»: объем продукции фитопланктона в январе оказывается наименьшим по сравнению с другими месяцами года. В целом же годы в смысле сезонного хода первичного продуцирования похожи друг на друга.

При указанных выше характеристиках и функциях рассчитано распределение суточной и годовой продукции фитопланктона по поверхности Японского моря в 2008–2012 гг. (Абакумов et al., 2015). Полученные результаты зависят от возможностей спутникового зондирования в связи с погодными условиями и точности дистанционных измерений.

### **Заключение**

Математическое моделирование как метод исследования динамики живых организмов, в частности фитопланктона, обладает рядом специфических преимуществ по сравнению с сугубо экспериментальным подходом. Формализованная модель позволяет понять характер зависимости процесса продуцирования от характеристик внешней среды, частично восполнить отсутствие или хаотичность данных, полученных натурными методами. А это, в свою очередь,

делает возможным составление прогнозных оценок в отношении состояния экосистемы и ее продуктивности.

Полученные оценки биопродуктивности отдельных районов Японского моря находятся в согласии с известными результатами по Японскому морю и другим морям, а также с общими представлениями о продуктивности морей и океанов (Zvalinskii et al., 2006).

Уровень достоверности результатов расчетов связан с уровнем надежности исходных данных и уровнем адекватности модели. Качественно оценивая точность спутниковых данных, можно утверждать, что приведенные математические модели адекватны исходной информации об объекте и результаты имеют сравнимый с исходной спутниковой информацией уровень точности.

В настоящее время мы ведем подобные расчеты по западнокамчатскому шельфу (Охотское море) и некоторым районам Берингова моря. Основные трудности связаны с данными о минеральном питании, их нет в спутниковой информации. Большую проблему представляет качество спутниковых данных. С повышением точности и достоверности данных дистанционного зондирования тесно связана достоверность наших расчетов.

#### **Благодарности.**

Исследование частично поддержано грантом № 18–01–00213 Российского фонда фундаментальных исследований и грантом № 18-5-051 Комплексной программы фундаментальных исследований «Дальний Восток» Дальневосточного отделения Российской академии наук, 2018 – 2020 годы.

Авторы благодарят Центр коллективного пользования регионального спутникового мониторинга окружающей среды Дальневосточного отделения РАН.

#### **Использованная литература**

- Cantrell R.S., Cosner C., 2003. Spatial Ecology via Reaction-Diffusion Equations. Wiley and Sons.
- Chorin A.J., Marsden J.E., 1992. A mathematical introduction to fluid mechanics. Springer.
- Dobrovolsky A.D., Zalogin B.S., 1982. Seas of USSR. MSU Publ., Moscow. (In Russian).

- Jorgensen S.E., 2009. Ecosystem Ecology. A Derivative of Encyclopedia of Ecology. Elsevier, Amsterdam.
- McClain C.R., Cleave M.L., Feldman G.C., Gregg W.W., Hooker S.B., Kuring N., 1998. Science quality SeaWiFS data for global biosphere research. *Sea Technology* 39, 10–16.
- Murray J.D., 2002. *Mathematical Biology*. Springer.
- Platt, T., Caverhill, C., Sathyendranath, S., 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic. *Journal of Geophysical Research: Oceans (1978–2012)*. 96(C8), pp. 15147-15159.
- Poluektov R.A., Pyh Yu.A., Shvytov I.A., 1980. Dynamical models of ecological systems. Gydrometeizdat, Leningrad (In Russian).
- Ryabov A.B., Rudolf L., Blasius B., 2010. Vertical distribution and composition of phytoplankton under the influence of an upper mixed layer. *Journal of Theoretical Biology* 263, pp. 120-133.
- Smith S.L., Pahlow M., Merico A., Wirtzd K.W., 2011. Optimality-based modeling of planktonic organisms. *Limnology and Oceanography*. 56, pp. 2080-2094.
- Williams P.J.B, Thomas D.N., Reynolds C.S., 2002. *Phytoplankton productivity: carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems*. Blackwell Publishing.
- Yamada K., Ishizaka J. and Nagata H., 2005. Spatial and temporal variability of satellite estimated primary production in the Japan Sea from 1998 to 2002. *J. Oceanogr.* 61, 857–869.
- Zvalinskii V.I., Lobanov V.B., Zakharkov S.P., Tishchenko P.Ya., 2006. Chlorophyll, delayed fluorescence, and primary production in the northwestern part of the Sea of Japan. *Oceanology*. 46(1), pp. 23-32.
- Abakumov A., Yu. Izrailsky, S. Park. 2015. Functioning of the phytoplankton in seas and estimates of primary production for aquatic ecosystems // *Developments in Environmental Modelling*. V. 27. P.339-349. DOI:10.1016/B978-0-444-63536-5.00015-6.

## オホーツク海の海洋循環・物質循環と地球温暖化

三寺史夫および環オホーツク観測研究センター

北海道大学低温科学研究所

### 1. 環オホーツク地域

オホーツク海と隣接する親潮海域は世界でもまれにみる豊かな海である。その源泉は、海氷生成を駆動源とする海洋循環と大陸からもたらされる鉄などの栄養物質循環が結合した、海陸連環システムにある。オホーツク海はサハリン島、ユーラシア大陸で囲まれ、南は千島列島間の海峡で北太平洋とつながっている縁辺海である。我々はこのオホーツク海とその周辺地域・海域を指して「環オホーツク地域」と呼んでいる。しかしながら「環オホーツク地域」の地球科学的意義は、東西には北半球で最も広大なユーラシア大陸と太平洋を包含し、南北には北極圏や熱帯・亜熱帯からの影響を受けている広大な領域である、というところにある。このような地域性ため、以下に述べるような特色がある。

#### ユーラシア大陸と太平洋の間の大きな熱的コントラストがもたらすモンスーン気候

ユーラシア大陸は北半球で最も大きな大陸であるため、その北東部であるシベリアには冬になると寒気が蓄積し、北半球において最も寒冷な地域（寒極）となる。一方、亜寒帯海域の表層は比較的低温ではあるものの、結氷点（約 $-1.8^{\circ}\text{C}$ ）以下になることはない。したがって、オホーツク海を挟んだ海陸間での温度差は冬季に $40^{\circ}\text{C}$ 以上になり、非常に大きい熱的コントラストが生まれる。このため大陸にはシベリア高気圧、北太平洋北部にはアリューシャン低気圧が発達し、海陸の境界である環オホーツク地域においては北東季節風による寒気の吹き出しが卓越する。

#### 大規模な海氷生成

海陸の境界にあるオホーツク海の最大の特色は冬季になると海氷に広く覆われることである。例年2月下旬から3月上旬にかけて海氷面積が最大となる。比較的low緯度のオホーツク海で海氷形成が起こるのは、オホーツク海の風上に寒極があり、そこから冷たい季節風が吹き出すためである。浅い北部大陸棚上では対流が海底まで届くため海水は強く冷却され、活発に海氷が生成される。海氷は生成後、サハリン島沖を流れる東樺太海流や大陸からの季節風によって流され南下し、北海道などオホーツク海南部に到達する。これは北半球における海氷の南限である。

海氷ができるとき、塩分が海氷中で濃縮され排出される。このため海氷生成を通して冷たく高塩分で重い海水ができる。北太平洋域で見ると、最も重い海水は、大量の海氷生産が起こるオホーツク海北部陸棚域において生成される。これは高密度陸棚水(Dense Shelf Water: DSW)と呼ばれ、オホーツク海の中層（水深300m付近）へと流れだしやがて北太

平洋全体に広がる。DSW は沈み込む際に CO<sub>2</sub> などの気体や大陸棚上の堆積物を海洋中層に運び、さらに北太平洋の中層へと輸送する。

#### 陸海連環：アムール川は鉄輸送を通した巨大魚附林

環オホーツク地域の最大の河川はアムール川である。流域面積が日本列島の 5 倍近くもある大河であり、毎秒 1 万トンもの淡水を注いでいる。また、アムール川からは大量の栄養物質や化学物質も流出している。我々は、中でも海洋植物プランクトンの光合成に必須の栄養物質であり亜寒帯海域の生物生産を制御する鉄に注目してきた。アムール川流域に広がる湿地帯には高濃度の鉄が存在しており、それが河口から流出し北部大陸棚に沈積する。そして DSW に取り込まれ、オホーツク海を経て北太平洋まで長距離にわたって輸送され生物生産に利用されることが分かってきた(Nishioka et al., 2013)。また、海氷も、結氷時に大陸棚から堆積物を取り込み、南下しつつオホーツク南部に到達し融解することにより鉄輸送を引き起こす。このように、アムール川を起源としオホーツク海・北太平洋をつなぐ鉄輸送システムは、まさに「巨大魚附林」である(白岩, 2011)

#### 地球温暖化に対して敏感な環境

以上のように、環オホーツク地域は広大なユーラシア大陸と北太平洋に挟まれた地域・海域であることが特徴である。中でも、気候や物質循環のシステムにおいて、海氷が非常に重要な役割を担っている。近年地球温暖化が顕著になっており、たとえばそれは海氷面積の減少という形で鋭敏に表れつつある。また、環オホーツク地域はアムール川北部における凍土帯やカムチャツカ半島の山岳氷河群などの雪氷圏を含んでいるため、地球規模の気候変動の影響が顕著に表れる可能性が高く、システムの脆弱さが懸念されている。

## **2. 海洋物質循環モデリング**

アムール川を起源とする鉄輸送の効果を調べるために、海洋物質循環シミュレーションを行った。物理モデルは Matsuda et al. (2014) をベースとしたもので、1) オホーツク海周辺は 2~8km、黒潮やベーリング海で約 10 km の格子を用いており、中規模渦を分解する高解像度、2) 順圧潮汐 (K1) を計算し乱流パラメタリゼーションを用いて鉛直拡散を陽に計算、という特徴を持っている。鉄モデルは Parekh 型のものを用いており、主要栄養塩として PO<sub>4</sub> を計算し鉄循環に結合している。鉄の供給源は、海面からのダストと陸棚上の堆積物である。月平均の風と熱・淡水フラックスで物理場を 50 年スピナップした後、鉄モデルを結合し 40 年積分した結果を解析した。

モデルは、オホーツク海の大陸棚において DSW に取り込まれ、それが中層に沈み込む過程を再現した。中層の鉄は生物生産に使われることなく長距離伝搬して親潮・北太平洋西部へと流れ出し、さらに北太平洋の亜熱帯循環-亜寒帯循環の境界に沿って東方へと進む。この海域は移行領域 (Transitional Domain) と呼ばれ、冬季に表層混合層が非常に深くま

で発達することが知られている。このため中層を通り遠距離輸送されてきた鉄が深い冬季混合によって表面に回帰し生物生産に利用されることが示された。また、アムール川河口域から海氷直下（海洋混合層内）を東サハリン海流に乗って南下し沿岸親潮となる鉄輸送経路も示された。沿岸親潮には高濃度の鉄が含まれていることが知られている。この輸送経路については、今後さらなる検証が必要である。一方で、亜寒帯循環の中央部や東部においては、主要栄養塩（本モデルでは  $PO_4$ ）が余っているにもかかわらず植物プランクトン増殖が止まってしまうという High Nutrient Low Chlorophyll (HNLC) 現象も再現した。これらの数値シミュレーションは、北太平洋亜寒帯循環の生物生産がオホーツク海から流出する鉄によりコントロールされていることを示している。

### 3. 地球温暖化とオホーツク海の海洋環境

オホーツク海では地球温暖化の影響が鋭敏に表れてきている。最大海氷面積は 10 年あたり 4.2% の割合で減少している。これは、北半球の海氷域で 2 番目に大きい減少率である (Cavalieri and Parkinson, 2012)。また、オホーツク海中層も温暖化している。これも 50 年で  $0.8^\circ$  程度昇温しており、世界で最も大きな昇温率を示す海域の一つである (Nakanowatari et al., 2007)。これには海氷生産量の減少が寄与しているのと思われる。また、温暖化に伴って亜寒帯では降水量が増加しており、それによる低塩化も DSW の塩分低下にとって重要である (Uehara et al., 2014)。これらのことは、地球温暖化に伴い DSW 形成および中層循環が弱化していることを意味している (Nakanowatari et al., 2017)。

しかしながら、温暖化に対するオホーツク海の応答は単純ではないかもしれない。Itaki and Ikehara (2004) は知床沖で得られた海洋堆積物コアを分析したところ、中層水に生息する放射虫の化石が、7000 年前から 3000 年前までの温暖期には数多く見つかる一方、3000 年前から 2000 年前の寒冷期にはほとんど見つからないことを示した。このことは、完新世において、DSW 形成量が温暖期ほど大きかったことを示唆している。彼らは、その要因について、温暖期にアリューシャン低気圧が北偏し海氷が生成するオホーツク海北部陸棚域ではかえって北風成分が強まったのではないかと推論している。この北風成分が海氷生成を促進し、その結果 DSW 形成量が増える、との推察である。気候モデル比較プロジェクト第 5 期 (CMIP5) の複数モデルアンサンブル解析 (20 モデル以上) によると、温暖化した 21 世紀後半ではアリューシャン低気圧の強化と北への拡大が示されている (Ogata et al., 2014)。したがって温暖化によりオホーツク海北部陸棚域での北風成分が強くなることが予測されており、Itaki and Ikehara (2004) の結果と整合的である。このことは、海洋中層の温暖化が単純には進行しない可能性があることを意味する。

海氷面積に関しては、CMIP5 によると、21 世紀後半にかけて大きく減ると予測されている。海氷面積減少には、気温上昇に加え、オホーツク海の海面水温上昇も寄与しているものと思われる。温暖化は、海氷を通じた鉄輸送や植物プランクトン増殖に大きな影響を及ぼすであろう。一方、海洋中層の鉄輸送に対する温暖化の影響は、上述したように単純

ではなさそうである。海洋観測データ、気候モデル、海洋物質循環モデルが充実してきている現在、オホーツク海環境に対する地球温暖化の定量的な影響評価が強く望まれる。

## 参考文献

- Cavaliere, D. J. and Parkinson, C. L. (2012): Arctic sea ice variability and trends, 1979–2010, *The Cryosphere*, 6, 881–889, <https://doi.org/10.5194/tc-6-881-2012>.
- Itaki, T., and K. Ikehara (2004): Middle to late Holocene changes of the Okhotsk Sea Intermediate Water and their relation to atmospheric circulation, *Geophysical Research Letters*, 31, L24309, doi:10.1029/2004GL021384.
- Matsuda, J., H. Mitsudera, T. Nakamura, Y. Sasajima, H. Hasumi, and M. Wakatsuchi (2015): Overturning circulation that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: The role of salinity advection, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 120, doi:10.1002/2014JC009995.
- Nakanowatari, T., Ohshima, K.I., Wakatsuchi, M. (2007): Warming and oxygen decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk. 1955–2004, *Geophysical Research Letters*, 34, L04602, doi:10.1029/2006GL028243.
- Nakanowatari, T., T. Nakamura, K. Uchimoto, J. Nishioka, H. Mitsudera, and M. Wakatsuchi (2017): Importance of Ekman transport and gyre circulation change on seasonal variation of surface dissolved iron in the western subarctic North Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 122, 4364–4391, doi: 10.1002/2016JC012354
- Nishioka, J., Nakatsuka, T., Watanabe, Y. W., Yasuda, I., Kuma, K., Ogawa, H., Ebuchi, N., Scherbinin, A., Volkov, Y. N., Shiraiwa, T., Wakatsuchi, M. (2013): Intensive mixing along an island chain controls oceanic biogeochemical cycles, *Glob. Biogeochemical Cycles*, 27, doi:10.1002/gbc.20088.
- Ogata, T., H. Ueda, T. Inoue, M. Hayasaki, A. Yoshida, S. Watanabe, M. Kira, M. Ooshiro, A. Kumai (2014): Projected Future Changes in the Asian Monsoon: A Comparison of CMIP3 and CMIP5 Model Results. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 92, 207–225.
- Uehara, H., Kruts, A. A., Mitsudera, H., Nakamura, T., Volkov, Y. N., Masaaki Wakatsuchi (2014): Remotely propagating salinity anomaly varies the source of the North Pacific ventilation. *Progress in Oceanography*, 126, 80–97.
- 白岩孝行 (2011) : 魚附林の地球環境学—親潮・オホーツク海を育むアムール川 (地球研叢書)、昭和堂。226pp。



## ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД И ВЕЩЕСТВ В ОХОТСКОМ МОРЕ И ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ

Фумио Мицудэра

Охотский научный наблюдательный центр

НИИ низкотемпературных наук Университета Хоккайдо

### 1. Амуро-Охотский регион

Морские акватории Курильского течения (Оясио), соприкасающиеся с Охотским морем, по своему богатству чрезвычайно редки, трудно найти ещё одно такое место на планете. На основе столь богатых биоресурсов лежат связи морских и наземных экосистем, в которых ключевую роль играют перенос железа и других биогенных веществ с континента в море и механизм циркуляции морских вод, срабатывающий с момента образования морского льда. Охотское море ограждено островом Сахалин и Евразийским континентом, а на юге оно имеет выходы к северной части Тихого океана в виде проливов между Курильскими островами. Эту территорию мы называем «Амуро-Охотский регион», под которым подразумевается акватория Охотского моря и территории, прилегающие к ней. В геонаучном значении «Амуро-Охотский регион» - это огромная территория, которая простирается от крупнейшего в северном полушарии Евразийского континента на западе до Тихого океана на востоке и находится под влиянием Северного полярного круга с севера и тропической и субтропической климатических зон с юга. Из-за таких региональных отличий он имеет следующие особенности.

#### Муссонный климат, обусловленный резким температурным контрастом между Евразийским континентом и Тихим океаном

Евразийский континент является крупнейшим в северном полушарии, поэтому зимой холодный воздух накапливается в его северо-восточной части – в Сибири, из-за чего он становится самым холодным регионом (полюсом холода) в северном полушарии. С другой стороны, хотя поверхностный слой акватории в субарктической зоне имеет относительно низкую температуру, она не падает ниже точки замерзания (около  $-1,8^{\circ}\text{C}$ ). Перепад температур между океаном и сушей через Охотское море зимой составляет  $40^{\circ}\text{C}$  и более, что порождает очень большой температурный контраст. Из-за этого на континенте возникает Сибирский антициклон, а в северной части Тихого океана образуется Алеутский минимум. В результате в Амуро-Охотском регионе, который является границей океана и суши, преобладают холодные

воздушные вторжения из-за северо-восточных муссонов.

### **Крупномасштабные образования морского льда**

Самая большая особенность Охотского моря, находящегося на границе между океаном и сушей, состоит в высокой ледовитости в зимнее время. В обычные годы с конца февраля и до начала марта площадь морского льда становится наибольшей. Образование морского льда в Охотском море, находящегося на относительно низкой широте, обусловлено полюсом холода на наветренной стороне Охотского моря, откуда дуют холодные муссоны. На неглубоком северном шельфе активно формируется морской лёд, потому что конвекционные потоки достигают придонных зон моря, что сильно охлаждает морскую воду. После образования морской лёд перемещается на юг в силу муссонов, дующих с континента, и Восточно-Сахалинского течения, протекающего в открытой акватории острова Сахалин, и достигает южной части Охотского моря вблизи Хоккайдо. Это и есть южная оконечность морского льда в северном полушарии.

Когда морской лёд формируется, он сбрасывает солёность, сконцентрированную в нём. Именно, как раз за счёт образования морского льда получается холодная, тяжёлая морская вода с высокой солёностью. В северной части Тихого океана самая тяжёлая морская вода образуется на континентальном шельфе северной части Охотского моря, где происходит производство тяжёлого морского льда в больших количествах. Её называют высокоплотной шельфовой водой (Dense Shelf Water: DSW), которая стекает в средний слой Охотского моря (на глубине около 300 м) и распространяется по всей северной части Тихого океана. По мере погружения, тяжёлая вода (DSW) переносит газы, такие как CO<sub>2</sub> и седименты с шельфа, в средний морской слой и далее транспортирует их в средний слой северной части Тихого океана.

### **Связь между сушей и морем: река Амур – это транспортер железа из обширных «лесов, являющихся источником взращивания рыбы<sup>1</sup>»**

---

<sup>1</sup> Прим. пер. В дословном переводе Леса с рыбой возле них. Предполагается, что концепция леса с рыбой возникла ещё в эпоху Эдо (1603-1868). В документах того времени можно увидеть следующие записи: рыбные места; маленькие рыбки в тени леса; рыбыны, скрытые от глаз вблизи леса; горы, где точно есть рыба; горы на побережье, к которым подходит рыба; и т.п., и эти леса было запрещено вырубать. В исследовании управления рыболовства при Министерстве Агрокультуры и Коммерции «Отношения между рыболовством и лесом» (1911) говорится, - есть много примеров тому, как к некогда хорошим рыбным местам вдоль побережья рыба перестала приближаться, потому что лес на берегу пришёл в запустение. В Японии есть несколько типов охраняемых лесов и один из них – это «промысловые охраняемые леса». Несмотря на то, что соотношение охраняемых лесов невелико, по состоянию на март 2005 года в целом по стране 54 000 га находится под охраной.

Крупнейшей рекой в Амуро-Охотском регионе является Амур. Это огромная река с площадью бассейна почти в пять раз превышающей Японские острова, она каждую секунду выливает в океан 10 000 тонн пресной воды. Кроме того, с Амура в море попадает огромные объемы биогенных веществ и химических элементов. Среди всего прочего, мы особое внимание обратили на железо, которое является важным питательным веществом для фотосинтеза морского фитопланктона и регулятором биологического производства в субарктической акватории. В водно-болотных угодьях вдоль бассейна реки Амур наблюдается высокая концентрация железа, которое стекает с лимана и оседает на северном шельфе. Далее, оно абсорбируется тяжёлой водой, транспортируется на большие расстояния в северную часть Тихого океана через Охотское море и используется в биологическом производстве (Nishioka et al., 2013). А также и то, что морской лёд, во время замерзания забирает седименты с шельфа и, перемещаясь к югу, достигает южной части Охотского моря, там он тает и таким образом транспортирует железо. Так, система транспортировки железа от реки Амур до Охотского моря и северной части Тихого океана – это ли не «огромный лес, как источник возвращения рыбы» (Сираива 2011).

### **Окружающая среда, чувствительная к глобальному потеплению**

Как было отмечено выше, Амуро-Охотский регион характеризуется тем, что его акватории и территории лежат между Евразийским континентом и северной частью Тихого океана. Среди всего прочего, морской лёд играет очень важную роль в формировании климата и системе циркуляции веществ. В последние годы глобальное потепление становится всё более заметно, например, оно резко себя проявляет в виде уменьшения ледовитости. При этом, вызывает опасение уязвимость системы, на которую пагубно могут влиять глобальные изменения климата, так как Амуро-Охотский регион включает в себя криосферы, в т.ч. многолетняя мерзлота в северной части и горные ледники на Камчатском полуострове.

## **2. Моделирование циркуляции веществ в морской акватории**

Чтобы исследовать эффект транспортиции железа с реки Амур, мы провели моделирование циркуляции веществ в морской акватории. Физическая модель основана на теории Дз. Мацуда и др. (2014) и характеризуется: 1) применением ячеек со сторонами от 2 до 8 км в районе Охотского моря и около 10 км в течении Куроисио и Беринговом море и высоким разрешением для анализа мезомасштабных вихрей; 2) расчётами баротропного прилива (K1) и вычислением вертикальной диффузии в плюсовых значениях с помощью параметризации турбулентности. Применена модель

железа типа Пареха, где  $PO_4$  принята за основную питательную соль для расчета и привязана к циркуляции железа. Источниками железа являются пыль с поверхности моря и седименты на шельфе. Были проанализированы результаты после раскрутки физического поля с добавлением данных о среднемесячной скорости ветра, потоках тепла и поступлении пресноводных фракций за 50 лет с последующим интегрированием с поведением модели железа в течение 40 лет.

Эта модель воспроизводила процесс включения железа в тяжелую воду на континентальном шельфе Охотского моря и его погружения в промежуточный слой. Железо этого слоя не участвует в биологическом производстве и, распространяясь на большие расстояния, попадает в течение Оясио в западной части Тихого океана и перемещается на восток вдоль границы субтропической - субарктической циркуляции в северной части Тихого океана. Этот морской район называется переходной территорией (Transitional Domain). Так же известно, что зимой поверхностный смешанный слой становится гораздо мощнее, достигая большой глубины. Таким образом, было выявлено, что принесённое издалека железо, пройдя через средний слой, снова выходит на поверхность путём интенсивного зимнего перемешивания вод и используется для биологического производства. Кроме того, также был выявлен маршрут транспортировки железа, которое идет от устья Амура подо льдами (в смешанном морском слое) и попадает в Восточно-Сахалинское течение. Далее он по этому течению направляется на юг и сливается с прибрежным течением Оясио. Известно, что прибрежное течение Оясио содержит высокие концентрации железа. Однако, этот транспортный маршрут требует более детальной проработки в дальнейшем. С другой стороны, в центральной и восточной части зоны субарктической циркуляции снова проявился феномен высокого содержания питательных веществ и низкого содержания хлорофилла (High Nutrient Low Chlorophyll -HNLC), при котором рост фитопланктона прекращается несмотря на избыток основной питательной соли (по этой модели -  $PO_4$ ). Это численное моделирование показывает, что биологическое производство в субарктической циркуляции северной части Тихого океана регулируется железом, вытекающим из Охотского моря.

### **3. Глобальное потепление и морская среда Охотского моря**

В Охотском море влияние глобального потепления проявляется довольно остро. Максимальная ледовитость уменьшается со скоростью 4,2% за каждые 10 лет. Это второе по величине уменьшение морского льда в северном полушарии (Cavalieri and Parkinson, 2012). Кроме того, промежуточная вода Охотского моря теплеет. За 50 лет

ее температура поднялась примерно на  $0,8^{\circ}$ , и он считается одним из морских районов, где наблюдается самая высокая скорость нагрева в мире (Nakanowatari et al., 2007). Предполагается, что этому способствует уменьшение объёмов производства морского льда. Кроме того, по мере потепления климата количество осадков в субарктической зоне растёт, из-за чего также происходит снижение солёности, которая приводит к снижению содержания соли в DSW (Uehara et al., 2014). А это значит, что вместе с глобальным потеплением образование DSW и циркуляция в промежуточном слое замедляется (Nakanowatari et al., 2017).

Однако реакция Охотского моря на глобальное потепление может быть неоднозначной. Т. Итаки и К. Икехара (2004) проанализировали седименты в открытом море у полуострова Сиретоко и обнаружили в них много окаменелостей радиолярий, обитавших в промежуточном морском слое в тёплый период с 7000 до 3000 лет назад, но радиолярий холодного периода с 3000 до 2000 лет назад практически обнаружено не было. Это говорит о том, что в период голоцена объёмы образования DSW были такими же большими, как в тёплый период. Они предполагают, что главная причина состоит в том, что Алеутская депрессия в тёплый период смещалась на север и составляющие северного ветра в районе континентального шельфа северной части Охотского моря, где образуется лёд, наоборот усиливались. Предполагается, что этот сильный северный ветер активизировал образование морского льда, в следствие чего, объёмы образования DSW возрастали. Анализ набора мульти-моделей (более 20 моделей) пятой фазы Проекта взаимного сравнения моделей (CMIP5) с моделью климата показывает, что усиление Алеутской депрессии с расширением на север приурочено ко второй половине XXI века, когда прогрессирует глобальное потепление (Ogata et al., 2014). Поэтому предполагается, что в результате потепления, составляющие северного ветра в северной части шельфа Охотского моря будут усиливаться, что согласуется с результатами, полученными Т. Итаки и К. Икехара (2004). А это означает, что промежуточная вода, вероятнее всего, не будет так просто нагреваться.

Согласно CMIP5, предполагается, что ледовитость будет значительно снижаться в конце XXI века. Весьма вероятно, что на этом сказываются повышение температуры воздуха и повышение температуры поверхностной воды в Охотском море. Вероятно, глобальное потепление окажет весьма серьёзное влияние на транспортировку железа морским льдом и на рост фитопланктона. Между прочим, воздействия потепления на перенос железа в промежуточном слое моря, по-видимому, не так просты, о чём говорилось выше. Чрезвычайно необходима количественная оценка влияния глобального потепления на экологию Охотского моря в настоящее время,

когда постоянно пополняется база данных наблюдений за океаном, совершенствуются климатические модели и модели циркуляции веществ в морской акватории.

## Литература

- Cavalieri, D. J. and Parkinson, C. L. (2012): Arctic sea ice variability and trends, 1979–2010, *The Cryosphere*, 6, 881-889, <https://doi.org/10.5194/tc-6-881-2012>.
- Itaki, T., and K. Ikehara (2004): Middle to late Holocene changes of the Okhotsk Sea Intermediate Water and their relation to atmospheric circulation, *Geophysical Research Letters*, 31, L24309, doi:10.1029/2004GL021384.
- Matsuda, J., H. Mitsudera, T. Nakamura, Y. Sasajima, H. Hasumi, and M. Wakatsuchi (2015): Overturning circulation that ventilates the intermediate layer of the Sea of Okhotsk and the North Pacific: The role of salinity advection, *Journal of Geophysical Research Oceans*, 120, doi:10.1002/2014JC009995.
- Nakanowatari, T., Ohshima, K.I., Wakatsuchi, M. (2007): Warming and oxygen decrease of intermediate water in the northwestern North Pacific, originating from the Sea of Okhotsk. 1955–2004, *Geophysical Research Letters*, 34, L04602, doi:10.1029/2006GL028243.
- Nakanowatari, T., T. Nakamura, K. Uchimoto, J. Nishioka, H. Mitsudera, and M. Wakatsuchi (2017): Importance of Ekman transport and gyre circulation change on seasonal variation of surface dissolved iron in the western subarctic North Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 122, 4364–4391, doi: 10.1002/2016JC012354
- Nishioka, J., Nakatsuka, T., Watanabe, Y. W., Yasuda, I., Kuma, K., Ogawa, H., Ebuchi, N., Scherbinin, A., Volkov, Y. N., Shiraiwa, T., Wakatsuchi, M. (2013): Intensive mixing along an island chain controls oceanic biogeochemical cycles, *Glob. Biogeochemical Cycles*, 27, doi:10.1002/gbc.20088.
- Ogata, T., H. Ueda, T. Inoue, M. Hayasaki, A. Yoshida, S. Watanabe, M. Kira, M. Ooshiro, A. Kumai (2014): Projected Future Changes in the Asian Monsoon: A Comparison of CMIP3 and CMIP5 Model Results. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 92, 207-225.
- Uehara, H., Kruts, A. A., Mitsudera, H., Nakamura, T., Volkov, Y. N., Masaaki Wakatsuchi (2014): Remotely propagating salinity anomaly varies the source of the North Pacific ventilation. *Progress in Oceanography*, 126, 80–97.
- Такаюки Сираива (2011): Наука об окружающей среде лес, как источник взращивания рыбы - река Амур, питающее Охотское море (серия исследование земли), изд. Сёвадо. Стр. 226.

## オホーツク海の海洋生物資源に及ぼす気候変動の影響

キム セントク

連邦国家研究機構全ロシア漁業海洋学研究所サハリン支部

ユジノサハリンスク市

長年世界の各地域・海域で起きている気候変動は、環境評価指標に表れる様々なトレンドがあり、一定の枠にくくるのは非常に難しい。特にオホーツク海はその典型で、研究が進んでおらず、最近数十年間でどんな変化が起きたのか、近未来においてどんな変化が起こりうるのかという問いにはっきりとした答えを導きにくいといえる。現状分析のために、地球規模の気候変動の特色を測る実に様々な指標（高気圧・低気圧の状態と動き、大気変動のタイプ、季節風循環）が用いられており、地表面の平均気温といった地球規模の指標や、結氷率、河川流量、河川氾濫、水温、水中溶存酸素量、海水位等、オホーツク海に直接関係する海洋指標も活用している。

本稿では、環境条件が海洋生物資源に一定の影響を与えていることは間違いないという前提に立ち、生態系の変化から間接的に環境の変化を把握する試みをしてみたい。

現時点で言えること。

オホーツク海で長年にわたって起きている変化は、地球規模あるいは北太平洋海域で起きている気候変動に伴うものである。

オホーツク海域の気候変動は、明らかに北極圏の変化に連動している。いわゆる気候温暖化は20世紀全般にわたって続いており (<https://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/index.html>)、21世紀も続いていくのは間違いないであろう。北極圏の温暖化は周知の事実であるが、地球規模の温暖化と歩調を合わせて続いていて (<https://arctic-roos.org>)、記録更新を続けている（2016年の最低結氷率）。21世紀後半には、北極圏で夏にほぼ氷が消滅すると予測されている [Wang, Overland, 2012]。古代気象研究によると、北極海の海氷面積は、最近1450年で最小を記録した [Kinnard et al., 2011]。

海氷の長期トレンドはオホーツク海においても顕著で、最近56年間（1957～2012年）冬季の平均結氷率は10年毎に4%ずつ減少している [ロバーノフ他 2014]。アムール川の流量は、1世紀（1900～2005年）に渡る観測の結果、10年間に0.5%ずつ減り続けている。直近30年間では、10年毎に12%ずつ減少している [メシェーニナ他 2007]。オホーツク海南部の海水面温度は直近50年間で0.6°C上昇した [Ohshima et al., 2009]。オホーツク海の中層における顕著な水温上昇は、1949～2010年の間に0.4～0.8°Cの幅で起きている [Andreev, Kusakabe, 2001; Andreev, Shevchenko, 2008; Hill et al., 2003; Itoh, 2007; Luchin et al., 2009; Nakanowatari et al., 2007; Osafune, Yasuda, 2006; ロバーノフ他 2014]。オホーツク海中深度層の溶存酸素濃度も減少傾向が続いている

[Luchin et al., 2009]。

また、1世紀に及ぶ地球温暖化で、海洋生態系に大きな影響を及ぼす気候変動の周期が短くなっていることも確認された。

北半球温・冷帯域（北緯 32.5～67.5°）の気温データによれば、過去 200 年間に 1910～45 年の温暖期、1946～75 年の穏やかな寒冷期、そして 1976 年以降の急激な温暖化の 3 期に区分されるという [ボンドゥール、クラピービン 2014; ペレベジェンツェフ他 2017]。これらの時期はオホーツク海上空の大気圧の長期変化によって明らかになってきた [ロバーノフ他 2014]。1948 年（調査開始年）から 1977 年までに、気圧の低下が観測され、1978～92 年は逆に異常高圧となった。その後 1993～2007 年には、オホーツク高気圧の勢力の低下を示す異常低圧となり、2009～11 年は再び高圧傾向となった [ヘーン他 2012]。これらの時期にオホーツク海の結氷率は反比例の関係を示している [Ustinova, Zuenko, 2011]。1925～45 年は海氷面積が減少し、1945～76 年は増加、1977～2010 年は再び減少に転じているのである。

これらの時期は、気候変動の指標も大きく変化したことが特筆される。例えば、冬の北極振動 (AOI)、東アジアモンスーン強度 (MOI)、太平洋北部の長期間の自然現象の周期を示す北太平洋十年規模振動 (PDO) など、気候変動を表す指標も大きく変化しているのである。太平洋西部冷帯海域は、中央部・東部水域と連動しており、北太平洋振動はそのまま北半球太平洋全体に影響を及ぼす。北米大陸西岸の水温変化は、長期的には北太平洋中部の逆の動きをするとされている [Mantua et al., 1997]。PDO 指数は、2008～14 年にかけて北米大陸西岸の海面水温が若干低下したことを示した。前回この地域で海面水温 (SST) が低下したのが確認されたのは 1947～76 年のことである。1977～78 年から少なくとも 2005 年まで、単年では大きく SST が低下したこともあったが、全体としては温暖期である [Tian et al., 2014; [http://research.jisao.washington.edu/pdo/img/pdo\\_latest.jpeg](http://research.jisao.washington.edu/pdo/img/pdo_latest.jpeg)]。2014 年以降 PDO 指数は上昇に転じ、アリューシャン低気圧が勢力を増したことがうかがわれ、太平洋東部海域で温暖化、オホーツク海を含む西部海域では寒冷化したことになる。また、1970 年代に起きた海水温の周期変動にたいする応答がオホーツク海でははっきり見られなかったことで、東アジアモンスーンの勢力圏と連動する北極振動に何らかの影響があったとみられる [Minobe, Nakamura, 2004]。

海洋生物資源に一定の影響を及ぼす気候・海洋変動の特色を以下に示す。

オホーツク海沿岸の観測地点における平均水温の変化 [ロストフ他 2017] を見ると、1977～87 年にかけて寒冷化、1988～2003 年は移行期、2004～16 年は温暖化傾向を示している。これらの変動は、気温変化・海域全体の水温・結氷率の周期変動と一致する。

オホーツク海の海面水温は 1950～2006 年にかけて継続して調査を行いデータが蓄積されており [ヘーン他 2008]、PDO 指数の変動と対照してみると、1964～75 年の 10 年間を除いて、異常水温が長年にわたって続いている点が酷似している。この約 60 年間における環境指標のトレンドには矛盾があるが、上記 1964～75 年の 10 年間を除くと、オ



ホーツク海における最近の水温上昇傾向は、PDO 指数に連動して始まり、そして終結したとみられる。オホーツク海・西太平洋海面水温の温暖化・寒冷化の交替は、カラフトマスの資源量変化にも表れている [Nagasawa, 2000]。

オホーツク海の中冷層の温度変化データによれば、1965～77 年は寒冷、1978～94 年は温暖、1995～2008 年は寒冷化し、2009～15 年は再び温暖化に転じている [ルーチン、マトベーエフ 2016]。

周知のように、アムール川の流量の増減とオホーツク海の海氷形成の強弱は北極振動と関連する [Ogi, Tachibana, 2006]。AOI 指数が正の値を示す時、ユーラシア大陸とオホーツク海上空の気温が上昇し、アムール川の流量が増加する一方、海氷面積は減少する。アムール川では 20 世紀中、合計 4 回におよぶ流量の周期変化 (21～31 年間隔) が見られた [ノボロツキー 2007]。1983～2005 年は流量が低下し、その後土砂運搬量が増加に転じる。この動きは、温暖期と連動している。アムール川の流量はほぼ 10 年周期で変動し、2002 年に底を打ったため、次の流量低下は 2010～2011 年ごろに到来すると考えられた。逆の長期変動トレンドと短期の傾向では、今後 10 年間緩やかに寒冷化していくと考えられる。

オホーツク海の海氷面積も定期的な調査で外せない観測対象である。それによると、1970～80 年代は面積が増加トレンドを示し、1980 年代半ばから 90 年代半ばにかけて減少傾向となり、その後再び気候の寒冷化と面積増加を示している [Ogi, Tachibana, 2006]。1998～2001 年の寒冷期の後、2002～06 年になって温暖期に移行 [フィグールキン、ジガーロフ、ワニン 2008]、2007～08 頃短期的な海氷面積増加があったものの、2010 年は平均値を下回っている [Ishizaki, 2009; フィグールキン 2011]。

太平洋北西部の低気圧の数は 1958～73 年にかけて増加し、1973～87 年は減少、1988～2003 年は再び増加に転じ、2003～11 年は減少傾向となっている [メゼンツェワ 2011]。オホーツク海では 2000～12 年に低気圧の数は減少したが、個々の勢力は増す傾向にある [グレボワ 2018]。低気圧と海氷面積と温暖化には相関があることも指摘されている。オホーツク海上の低気圧の勢力が弱まる (低気圧の数は増える) と、北風が強まり、海氷面積が激増する (1990 年代)。反対に低気圧の数が減り勢力が増すと、南風が強まる一方北風が弱まり海氷面積の減少となる (2000 年代) 法則がある。2012 年以降このトレンドが変わり、オホーツク海では低気圧の数が増加しているため、寒冷化すると予想される。

これらのデータを総合すると、私見では、オホーツク海はここ数十年間以下の変化があったと考えられる (図 1)。1946～77 年は気候が寒冷化し、次の 1978～94 年は温暖化、1994～2003 年は寒冷化、2004～15 年は温暖傾向を示し、2014 年からは再び寒冷化している。もちろんこれは大まかな傾向であって、個々の環境指標は大きな経年変動があり、一部の環境指標では上記トレンドを明確に裏付けることはできないし、別の指標では逆にほぼ例外なく明確に上記傾向をなぞることができる論理的な変化を示している。

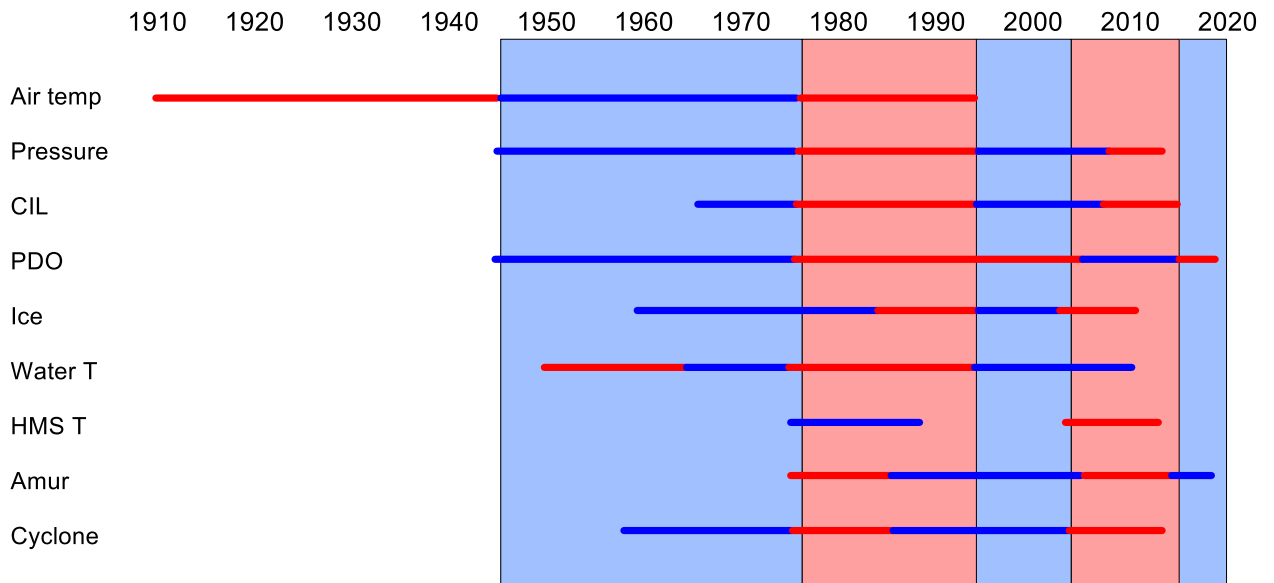


図 1. オホーツク海の気候・海洋変化の周期変動（推測）

オホーツク海の水産資源量の変動には強い地域性がある（図 2～4）。広く知られているのは、1980 年代後半から 1990 年代前半にかけてオホーツク海を含む極東海域全体で資源量が高いレベルで推移したことである [シュントフ、ドゥレポワ 1994]。一部の試算では当時の水産資源量は 5500～6000 万トンに達し、うち 1100 万トンは底魚であった [McKinnell, Dagg, 2010]。水産資源の大半はタラ科で、なかでもスケトウダラの割合が最も多い（北部で 85～99%、南部で 30%）。この時期のスケトウダラ漁獲量は最大で 2200 万トンに達し、平均でも 1000～1500 万トンで推移した。

1990 年代半ばにオホーツク海の水産資源に劇的な変化が起きた。北部海域におけるスケトウダラの資源量は 500 万 t まで落ち込み、南部でもスケトウダラ、マイワシ合わせても 500 万 t となり、中層域の浮魚が総じて激減した。その結果、1990 年代半ばのオホーツク海全体の水産資源は 1000 万 t 程度まで落ち込んだとみられる [シュントフ、ドゥレポワ 1994]。1990 年代末から 2000 年代初めまでスケトウダラの資源量は底を打ち（成魚の資源量は 250～300 万 t）、2000 年代半ばから水産資源量も緩やかに上昇に転じた。顕著な上昇を示したのは 2006～07 年、2012～15 年である。オホーツク海北部のスケトウダラ成魚の資源量は 1000～1300 万 t となり、年間漁獲量は 100 万 t 近くまで回復した。最近 3 年間、資源量は高レベルで推移すると予測されたものの、漁獲量は頭打ちとなり、新たに減少傾向のフェーズに入ったとみられる。

魚の生態や地域的な気候・海洋条件により、各魚種・各海域における資源量の変動は異なることを断っておく。一方、オホーツク海全体のトレンドとしてはほぼ見極められたと言っていいだろう。例えば、千島列島沿岸に棲息するホッケの資源量の減少は、他の魚種より早く 2009～10 年に始まり、以後 10 年間は低レベルで推移する。底魚の資源量はオ

ホーツク海南部北部で同じような経過を辿るものの、気候の厳しい北東部と比較的温暖な西カムチャッカ地方や千島列島南部近海とでは、大きなタイムラグがある [キム・セントク 2014]。

温帯域の浮魚は餌を求めてオホーツク海を含む北太平洋を回遊する。サンマは 2004～2008 年までの資源量が多かったが、2009 年から減少に転じた。マイワシは 2008 年から上昇し、2015 年まで高レベルで推移している。ここ数年も漁獲量が多く、資源量が維持されていることを裏付ける。サバの資源量増は 2013 年から始まり、現在も続いている。以前は 1968～80 年代に資源増、1981～89 年は減、1990～2012 年は低レベルであった。これらを総合すると、2010 年ごろを境に、表層浮魚の資源量のトレンドが変わったことが分かる。

結論としては、直近 30 年間オホーツク海の水産資源量は、環境の変化による周期変動の法則にしたがい上昇期と下降期を 2 回ずつ繰り返してきた。環境変化の指標を全体的に見渡せば、地域的な生息条件の変動により、各魚種と水産資源全体の推移の中でトレンドの交替が起きていることが分かる。環境指標を個別に検討するだけではオホーツク海の生物資源量の増減をトレースできないが、全体を見渡すと顕著な傾向が見て取れるのである。

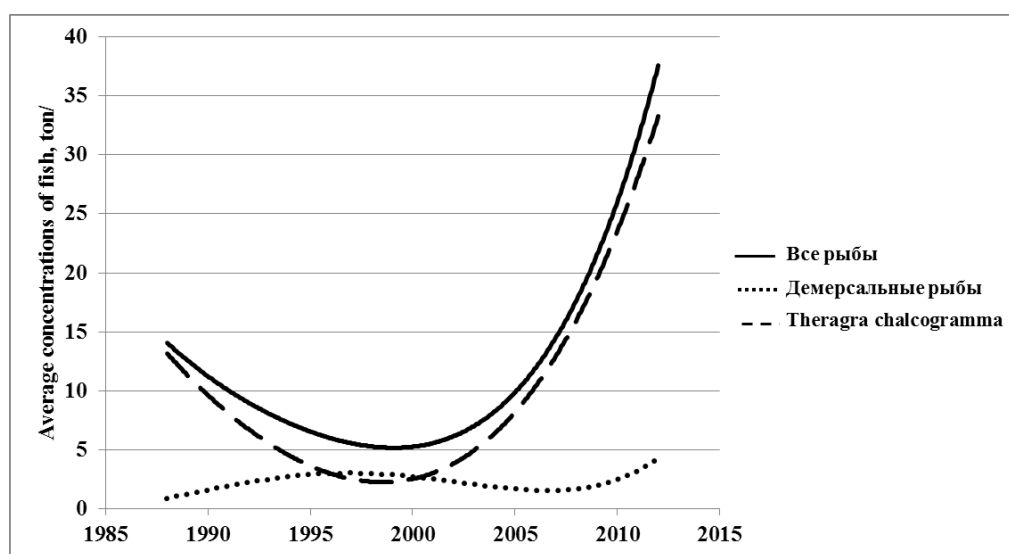


図2. 1988～2012年サハリン北東部のスケトウダラと底魚全体の資源量推移 [キム 2014]

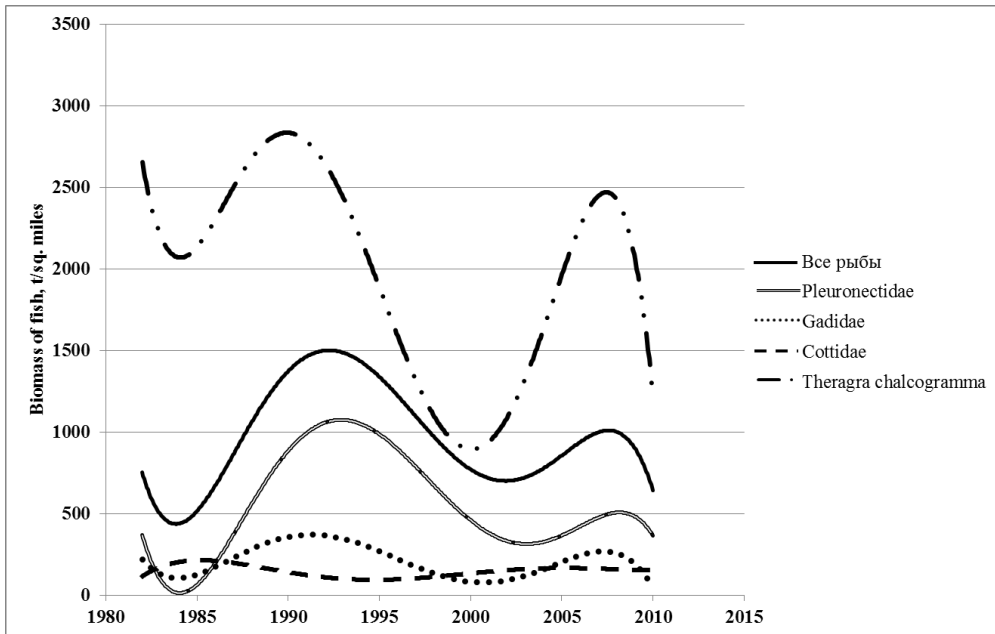


図 3. 西カムチャッカ海域の底魚資源量の経年変化 [サービナ他 2011]

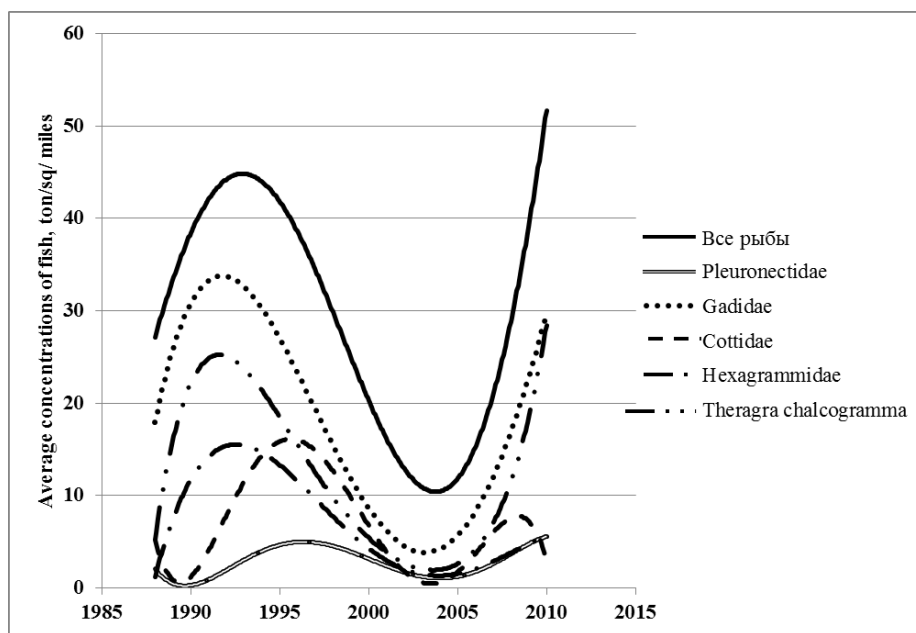


図 4. 1988～2010 年の千島列島南部海域における水産資源量の変化 (トロール調査) [キム 2014]

Доклад  
**Влияние климатических изменений на морские биологические ресурсы  
Охотского моря**

Ким Сен Ток  
Сахалинский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СахНИРО»)  
г. Южно-Сахалинск

Характер многолетних изменений климата над конкретным районом территории или акватории планеты довольно сложен, ввиду неоднозначных трендов, выявляемых по комплексу разнообразных параметров среды. В полной мере это относится и к акватории Охотского моря, изученность которого пока недостаточна для однозначного ответа, какие изменения произошли в последние десятилетия и какие произойдут в ближайшем будущем. Для анализа общей ситуации могут быть использованы самые разнообразные индексы, характеризующие климат над довольно обширными районами планеты (положение и динамика центров действия атмосферы, тип атмосферных процессов, муссонная циркуляция), в том числе глобальные (средняя глобальная температура поверхности Земли), а также океанологический режим, характеризующий непосредственно охотоморские воды (ледовитость, сток рек, интенсивность неперIODических течений, температура воды, содержание кислорода в воде, уровень моря).

Можно пойти обратным путем и, понимая, что условия среды несомненно оказывают определяющее влияние на состояние морских биологических ресурсов, попытаться определить характер динамики среды косвенно по изменениям биологических сообществ.

Что можно сказать в настоящее время?

Многолетняя динамика среды в зоне Охотского моря сопряжена с глобальными и региональными колебаниями климата в северной части Тихого океана.

Климатические изменения в зоне Охотского моря явно сопряжены с изменениями в Арктике. Так называемое глобальное потепление наблюдается все XX столетие (<https://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/index.html>) и, несомненно, будет еще продолжаться в XXI веке. Широко известное потепление в Арктике продолжается, находясь в русле реальных процессов глобального потепления (<https://arctic-roos.org>) и достигает все новых рекордов (минимальный уровень ледовитости был отмечен в 2016 г.). Во второй половине 21 века прогнозируется почти полное освобождение летом арктической зоны ото льда (Wang, Overland, 2012).

Палеоклиматические исследования утверждают, что ледовый покров арктических морей сейчас минимален на фоне последних 1450 лет (Kinnard et al., 2011).

Долгопериодные тенденции изменения ледовых условий хорошо заметны и в Охотском море, где за последние 56 лет (1957–2012 гг.) средnezимняя ледовитость снижалась на 4% за десятилетие (Лобанов и др., 2014). Сток реки Амур на протяжении векового цикла наблюдений (1900-2005 гг.) имел тенденцию уменьшения на 0,5% за десять лет. В последние 30 лет темп снижения водности Амура возрос до 12% за 10 лет (Мещенина и др., 2007). Поверхностная температура воды в южной части Охотского моря возросла за последние 50 лет на 0,6 С (Ohshima et al., 2009). В промежуточных водах Охотского моря значительный рост температуры воды наблюдался в период 1949-2010 гг. – на 0,4-0,8°C ((Andreev, Kusakabe, 2001; Andreev, Shevchenko, 2008; Hill et al., 2003; Itoh, 2007; Luchin et al., 2009; Nakanowatari et al., 2007; Osafune, Yasuda, 2006) Лобанов и др., 2014). Отмечена устойчивая тенденция понижения содержания растворенного кислорода в промежуточных водах Охотского моря (Luchin et al., 2009).

Вместе с тем, на фоне длительных вековых циклов глобального потепления, наблюдаются значительно менее продолжительные циклы климатических изменений, которые оказывают видимое влияние на современные морские экосистемы.

По данным о температуре воздуха в умеренной зоне северного полушария (32,5-67,5° с.ш.) отмечено три периода, наблюдаемые в 20 столетии: потепление в 1910-1945 гг., слабое похолодание в 1946-1975 гг., и интенсивное потепление в период после 1976 г. (Бондур, Крапивин, 2014; Переведенцев и др., 2017). Сходные периоды выделяются по многолетнему ходу значений атмосферного давления над Охотским морем (Лобанов и др., 2014). С 1948 (начальный год исследований) по 1977 г. наблюдалось пониженное давление, с 1978 по 1992 гг. наблюдались положительные аномалии геопотенциала, с 1993 по 2007 гг. – вновь отрицательные аномалии геопотенциала, демонстрирующие усиление или ослабление охотоморского антициклона. В период 2009-2011 гг. была отмечена очередная смена трендов (Хен и др., 2012). Примерно те же периоды характерны для ледовитости Охотского моря, с обратным знаком (Ustinova, Zuenko, 2011). В 1925-1945 гг. -наблюдалось уменьшение ледовитости моря, 1945-1976 гг. - рост ледовитости, 1977-2010 гг. – очередное уменьшение ледового покрова.

Эти же периоды выделяются в динамике существующих индексов изменчивости климата, к примеру зимней арктической осцилляции AOI, интенсивности восточно-азиатских муссонов (MOI), а также северотихоокеанской осцилляции PDO, характеризующей многолетнюю цикличность природных процессов

в северной части Тихого океана. Западные субарктические воды Пацифики входят в единую область динамических изменений с водами центральной и восточной ее частей, что позволяет распространять действие северотихоокеанской осцилляции на всю обозримую область океана в северном полушарии. Считается, что термический режим вод вблизи западного побережья северной Америки меняется в многолетнем аспекте в противофазе с центральной частью северной Пацифики (Mantua et al., 1997). Индекс PDO свидетельствует о некотором похолодании в 2008-2014 гг., характерном для поверхностных вод западного побережья Северной Америки. Предыдущая холодная фаза динамики SST наблюдалась здесь в 1947-1976 гг. Весь период от 1977-1978 гг., и, по крайней мере, до 2005 г., невзирая на имевшие место заметные похолодания в отдельные годы, по совокупности, принимается за теплую фазу (Tian et al., 2014; [http://research.jisao.washington.edu/pdo/img/pdo\\_latest.jpeg](http://research.jisao.washington.edu/pdo/img/pdo_latest.jpeg)). С 2014 г. началась очередная положительная фаза PDO, которая ассоциируется с интенсификацией Алеутского минимума, что означает потепление на востоке Тихого Океана и, наоборот, похолодание на западе, в том числе и в Охотском море. Вместе с тем, отсутствие отклика на известный сдвиг термического режима вод в 1970-х гг. в Охотском море позволяет предположить существенное влияние в районе интенсивности восточно-азиатских муссонов и ассоциированной с ним арктической осцилляции (Minobe, Nakamura, 2004).

Внутрирегиональные особенности в колебаниях климатических и океанографических характеристик среды, оказывающие определяющее влияние на динамику морских биологических ресурсов, представлены ниже.

Динамика среднегодовой температуры на прибрежных ГМС Охотского моря (Ростов и др., 2017), показала, что в ней наблюдаются фазы похолодания (примерно 1977-1987 гг.), переходный период (1988-2003 гг.) и фаза потепления (2004-2016 гг.). Эти изменения хорошо согласуются с соответствующими фазами вариаций температуры воздуха на ГМС, температуры воды на всей акватории моря и ледовитости.

Известная информация по динамике температурного режима поверхностных вод Охотского моря охватывает интервал времени от 1950 до 2006 гг. (Хен и др., 2008). Сравнение данных по SST Охотского моря и индексу PDO демонстрирует существенное сходство многолетней динамики аномалии температуры по всему имеющемуся ряду, за исключением десятилетнего периода 1964-1975 гг. Отмеченные тренды параметров среды в рассматриваемом промежутке времени довольно противоречивы, но если исключить указанное десятилетие, то можно заключить, что последнее потепление в Охотском море, в целом, наступило и закончилось, по всей

видимости, в те же сроки, что и по индексу PDO. Сходство смены температурного режима поверхностных вод Охотского моря и западной части Тихого океана подтверждается многолетней динамикой азиатской горбуши (Nagasawa, 2000).

Информация по термическому состоянию холодного промежуточного слоя (ХПС) Охотского моря говорит о периодах похолодания 1965-1977 гг., потепления в 1978-1994 гг., похолодания в 1995-2008 гг. и очередного потепления в 2009-2015 гг., (Лучин, Матвеев, 2016).

Известно, что динамика стока вод р. Амур и интенсивность ледообразования Охотского моря связаны с арктической осцилляцией (Ogi, Tachibana, 2006). В период положительных значений AOI температура воздуха над Евразией и Охотским морем теплеет, сток амурских вод усиливается, тогда как ледовый покров уменьшается. В XX столетии наблюдалось 4 долгопериодных цикла изменения стока реки продолжительностью 21-31 лет (Новороцкий, 2007). Период между 1983 и 2005 гг. характеризовался низкой интенсивностью речного стока, за которым последовало увеличение выноса. Интенсификация процесса ассоциируется с теплым периодом. Квазидекадная вариабельность стока р. Амур показала минимальное течение в 2002 г., что позволило предположить следующее снижение стока в период после 2010-2011 гг. Противоположный тренд долгопериодной и короткопериодной составляющих позволяет поддерживать гипотезу о мягком похолодании в последующем десятилетии.

Известная информация по ледовитости Охотского моря указывает на то, что в 1970-1980-е гг. было усиление ледовитости, с середины 1980-х до середины 1990-х гг. было уменьшение ледовитости, затем наступил вновь период похолодания и увеличения ледового покрова моря (Ogi, Tachinaba, 2006). Период похолодания в 1998-2001 гг. сменился явным потеплением 2002-2006 гг. (Фигуркин, Жигалов, Ванин, 2008). Несмотря на кратковременное усиление ледового покрова зимой 2007-2008 гг., до 2010 г. ледовый покров оставался на уровне меньше среднемноголетнего значения (Ishizaki, 2009; Фигуркин, 2011).

Количество тропических циклонов в северо-западном секторе Тихого океана увеличивалось в 1958-1973 гг., уменьшалось в 1973-1987 гг., вновь усиливалось в 1988-2003 гг., и было ослаблено в 2003-2011 гг. (Мезенцева, 2011). В зоне Охотского моря в период с 2000 по 2012 г. наблюдалось снижение количества циклонов, сопровождавшееся усилением их силы (Глебова, 2018). Отмечена интересная связь между действием циклонов, ледовитостью моря и потеплением. При ослаблении интенсивности циклонов (при одновременном увеличении их количества) над Охотским морем, усиливается северный перенос ветров и возникает экстремальный



рост ледовитости моря (конец 1990-х гг.). При усилении интенсивности циклонов (и снижения их количества) всегда отмечается усиление южных ветров и ослабление зимнего северного переноса, что снижает ледовитость (2000-е гг.). После 2012 г. отмечена смена трендов и тенденция к росту числа циклонов над рассматриваемым регионом, т. е., можно предположить, к похолоданию.

Суммируя всю представленную информацию можно предположить, что Охотское море претерпевало в недавние десятилетия, на мой взгляд, следующие изменения (рис. 1). В период 1946-1977 гг. наблюдалось похолодание климата, далее - теплая фаза 1978-1994 гг., холодная фаза 1994-2003 гг., теплая фаза 2004-2015, холодная фаза с 2014 года. Разумеется, это примерные наблюдения, которые по разным параметрам среды существенно колеблются во временном масштабе. Отдельные фазы в изменениях некоторых индексов среды не прослеживаются, но другие, наоборот, очень последовательны и проявляются в значительном большинстве случаев.

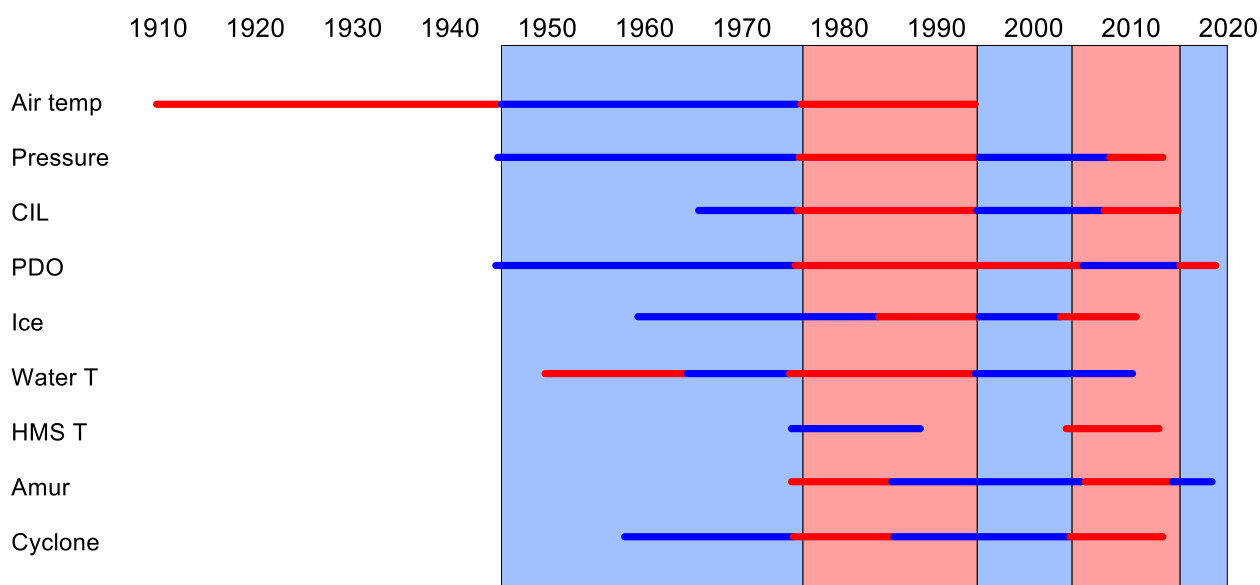


Рисунок 1. Возможная периодизация в характере изменения климата и океанографических параметров в районе Охотского моря

Характер многолетней динамики запасов морских рыб Охотского моря имеет свои региональные особенности (рис. 2-4). Широко известным является высокий уровень ресурсов рыб, наблюдавшийся в период второй половины 1980-х – первой половины 1990-х гг. во всех дальневосточных морях, и в том числе в Охотском море (Шунтов, Дулепова, 1994). По некоторым оценкам, общая ихтиомасса в море

достигала, по меньшей мере, 55-60 млн т, из которых 11 млн. т составляли демерсальные рыбы (McKinnell, Dagg, 2010). Основную долю в биомассе рыб представляли тресковые рыбы, преимущественно минтай (до 85-99% на севере моря и до 30% - на юге). Годовой улов минтая в эти годы поднимался до 2,2 млн т, преимущественно находясь в интервале между 1,0-1,5 млн т.

В середине 1990-х гг. произошли кардинальные изменения в величине биоресурсов Охотского моря. Биомасса минтая в северной части моря снизилась до 5 млн т. В южной части моря суммарная биомасса минтая и сардины иваси упала также до 5 млн т, одновременно с резким сокращением запасов мезопелагических рыб. В итоге, предполагается, что общая ихтиомасса в Охотском море в середине 1990-х гг. сократилась до примерно 10 млн т (Шунтов, Дулепова, 1994). После крайне низкого уровня биомассы минтая, наблюдавшегося в конце 1990-х – начале 2000-х гг. (нерестовый запас составлял порядка 2,5-3,0 млн т), примерно с середины 2000-х гг. был отмечен новый рост общих биоресурсов. Наиболее очевидный рост биомассы рыб наблюдался в период с 2006-2007 гг. по 2012-2015 гг. В северной части Охотского моря ресурсы нерестового минтая достигли 10-13 млн т, при годовом вылове близком к 1 млн т. В последние 3 года рост прекратился и, хотя оценки показывают все еще достаточно высокий уровень запасов, по всей видимости, начался новый цикл снижения уровня биоресурсов.

Необходимо сказать, что для разных видов и разных участков моря характер изменения запасов рыб может несколько отличаться в силу различий в биологии рыб и локальных особенностей климата и океанографии. В то же время общий тренд для всей зоны Охотского моря в целом сохраняется и может быть оценен. К примеру, северный одноперый терпуг, обитающий вдоль всей Курильской гряды, начал снижение своей биомассы раньше остальных видов - еще в 2009-2010 гг., и все последнее десятилетие сохраняет низкий уровень численности. Динамика общих запасов демерсальных рыб, довольно сходная на разных участках севера и юга моря, имеет заметный временной лаг в формировании периодов роста или падения биомассы стад, по всей видимости, связанный с более суровыми (северо-восточные воды моря) или мягкими (западно-камчатские и южно-курильские воды) условиями среды (Ким Сен Ток, 2014).

Субтропические пелагические виды рыб совершают нагульные миграции в северную часть Тихого океана, в том числе в воды Охотского моря. Сайра, после периода высокого уровня запасов в 2004-2008 гг., начали снижать свою численность с 2009 г. Сардина иваси, после начала роста ее ресурсов в 2008 г., сохраняла динамику роста до 2015 г. Уловы последних лет все еще высоки, что указывает на сохранение

высокого уровня запасов. Скумбрия показывает увеличение своих запасов с 2013 г. и по настоящее время. До этого, в 1968-1980 гг. у нее наблюдалась высокая численность, в 1981-1989 гг. – снижение численности, в 1990-2012 гг. – низкая численность. Приведенная информация по этой группе рыб свидетельствует о смене трендов в динамике запасов у эпипелагических видов на рубеже первого и второго десятилетий.

В итоге видно, что общие ресурсы рыб в районе Охотского моря за последнее 30-летие претерпели два периода роста и два спада в своей динамике, заметно повторяющие изменения окружающей среды. При комплексном рассмотрении всех имеющихся индексов изменения среды, можно ассоциировать смену трендов в динамике общих и частных запасов рыб с отдельными этапами флюктуаций в среде обитания рыб в региональном масштабе. Хотя каждый рассматриваемый параметр среды в отдельности не дает возможности проследить все этапы роста и снижения биологических ресурсов Охотского моря, при рассмотрении их в комплексе, связь пока представляется очевидной.

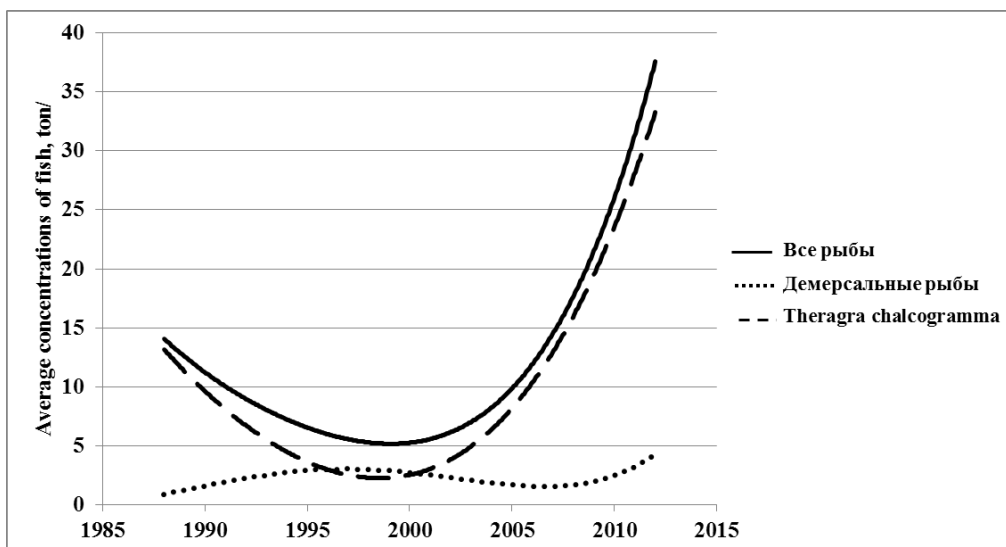


Рисунок 2. Динамика средневзвешенной биомассы минтая и других демерсальных рыб в комплексе у северо-восточного Сахалина в период с 1988 по 2012 гг. (Ким Сен Ток, 2014)

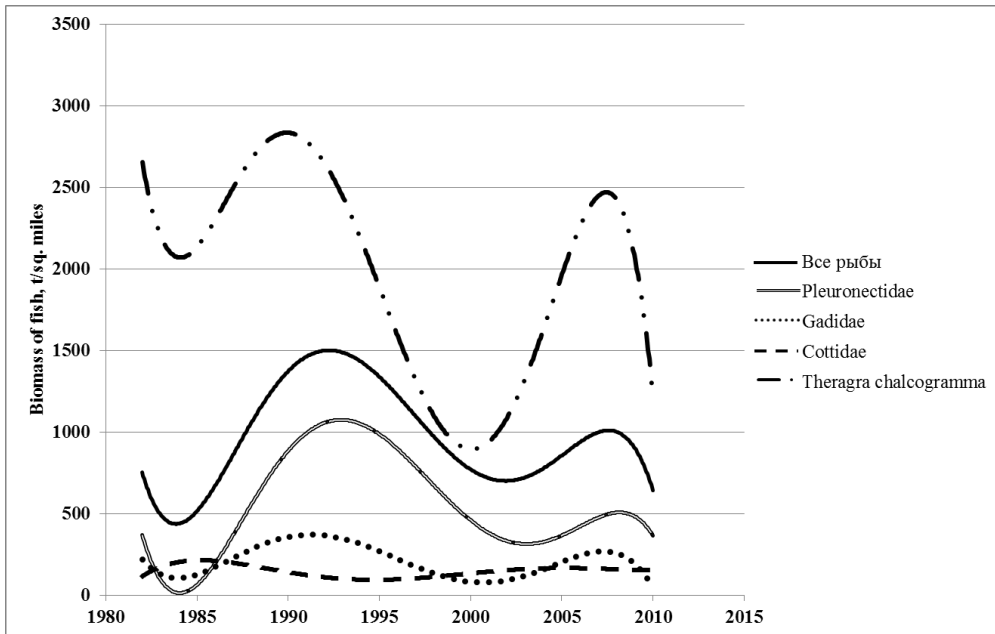


Рисунок 3. Многолетняя динамика биомассы демерсальных рыб в западнокамчатских водах (по данным Савина А.Б. и др., 2011)

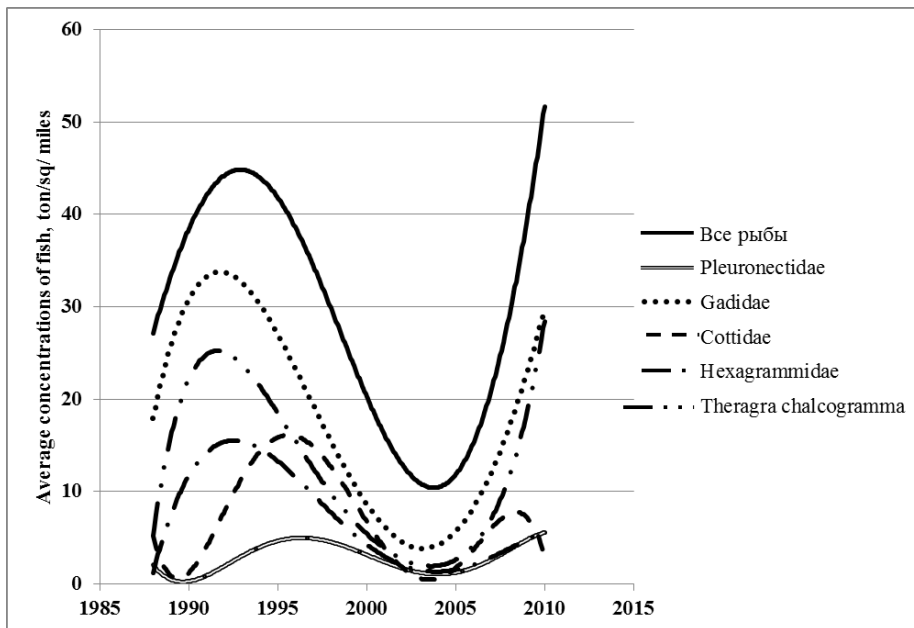


Рисунок 4. Многолетняя динамика биомассы демерсальных рыб в южнокурильских водах по данным траловых учетных съемок 1988-2010 гг. (Ким Сен Ток, 2014)

## 最近の気候変化に連動した北日本の主な水産資源の漁獲動向

桜井 泰憲

函館国際水産・海洋都市推進機構 函館頭足類科学研究所

### 1. はじめに

北海道を含む北日本では、2010年以降に主な水産資源の漁獲に大きな変化が見られている。例えば、北日本沿岸に産卵回遊するサケ（シロザケ）の減少、北部日本海を中心とするホッケの減少、スケトウダラの日本海系群は減少が継続、太平洋系群は産卵群が北に留まる傾向、太平洋沖合のサンマは減少傾向、クロマグロとブリは回遊が北上化、北日本のニシンと青森県むつ湾を産卵場とするマダラ系群は増加、スルメイカは、特に冬生まれ群が激減、2010年以降の春の寒冷が続いた時にマイワシとサバ類が増加している（図1）。こうした現象は、最近の海洋環境変化と関連する可能性があり、ここでは、主な水産種の漁獲変化と海洋環境変化との関係を紹介する。

### 2. 最近の海水温変化と主な水産資源の漁獲変化

気象庁によれば、20世紀以降の日本周辺海域の海域別の海面水温の上昇傾向が続いており、特に冬の日本海中央部では2.3℃も上がっている。一方、2010年から2015年の間には、冬～春の極東域の局所的寒冷化、夏～秋の日本の本州を中心とした異常高温が顕著となっており、これも主な水産資源の分布や漁獲に影響を与えている可能性が高い。例えば、1990年代半ば以降からブリの漁獲量は3倍に増加し、その分布が北海道オホーツク海沿岸まで拡大している。北海道沿岸の岩礁域で主に11月に産卵するホッケは、2011年から一気に減少した。これは、秋の産卵期の高水温が再生産から加入を悪化させた可能性が高い。一方、寒冷レジーム期に資源が増大するマイワシは、主に四国沿岸で春に産卵しており、この海域の春の低水温が仔稚魚の加入の増加をもたらしたと考えられる。

図2に、20世紀以降のマイワシ、サバ類、アジ、スルメイカの日本の漁獲量の経年変化と、日本周辺の海水温の寒冷期と温暖期との関係を示した。マイワシは寒冷期に増え、温暖期に減少する。逆に、スルメイカとカタクチイワシは、温暖期に増え、寒冷期に減少する。この現象は「海水温の温暖・寒冷レジームシフトに応答する浮魚類の魚種交替現象」と呼ばれている。ここで注目したいのは、1970年代半ばの温暖から寒冷に伴うマイワシの増加とスルメイカとカタクチイワシの減少が、2010年からの温暖から寒冷への移行の時点にも、同じ魚種交替現象が見られている。ただし、右肩上がりの温暖化傾向の中で、温暖期に比べて寒冷期の長さが次第に短くなっており、再び温暖期に増えるカタクチイワシとスルメイカが1988/1989年の寒冷期から温暖期の時よりも早く復活するかもしれない。

### 3. スルメイカ冬生まれ群の激減はなぜ起きたか？

スルメイカの寿命は1年であり、秋生まれ群は、10月から12月に日本海南西部で産卵し、主に日本海を回遊している。一方、冬生まれ群は、東シナ海で1月から3月に産卵し、その幼生は太平洋を北上して秋以降に北海道を含む北日本沿岸に接岸し、宗谷海峡と津軽海峡を通して日本海を南下する。秋生まれ群は、2000年代以降緩やかに減少が続いており、冬生まれ群は2016年以降に急激に減っている。

スルメイカの産卵生態については、約30年間にわたって飼育実験と産卵場調査から調べてきた。本種は、透明な巨大卵塊を産卵する。その大きさは、最大直径1mほどで、中には1ミリほどの卵が数十万個存在する。この産卵行動の観察と、人工授精した卵の正常に発生する水温、正常に遊泳するふ化幼生の水温などを調べ、これに実際の産卵場の環境条件を加えて「スルメイカの産卵仮説」を提唱した。この産卵仮説は「スルメイカは水深100mから500mの大陸棚から大陸棚斜面の上の表層暖水（18℃から24℃）の中で産卵し、卵塊はその水温躍層の表層水の中でふ化して海面まで上昇し、その後は成長しながら北上に運ばれる」である。この産卵仮説から、水深100mから500mの大陸棚～斜面の上の海面水温18℃から24℃未満の海域が推定産卵場としてマッピングできる。これを使って、各年、各月の産卵場の広がりや縮小などを比較することが可能となった。

この産卵場のGIS解析から、2000年以降の秋生まれ群の漁獲量の緩やかな減少傾向は、10月の産卵場が24℃以上の年が続いたため、年々加入資源が微減し続けたためと推定された。一方、東シナ海を産卵場とするスルメイカ冬生まれ群が2016年以降に激減したが、これは、東シナ海の産卵場が2016年以降の局所的寒冷化によって縮小したことが原因と考えられる。具体的には、2016年と2017年は2月と3月の産卵場が縮小、2018年は1月から3月が縮小している。2016年以降の冬季季節風が強かった気象条件が局所的寒冷化をもたらし、産卵場を縮小させ、その結果毎年のふ化幼生の生存尾数が激減し、その親イカも減るといった減少が続いた結果、現在の大不漁が起きた可能性が高い。

#### 4. スケトウダラおよびマダラの漁獲変化

スケトウダラは、雌雄がペアでマウンテングと呼ばれるオスがメスを抱く行動で産卵する。卵は分離性浮遊卵で、メスは約1か月の間に数日間隔で何回にも分けて産卵する。一方、マダラは、約5キロのメスでは100万個以上の卵を一気に産卵し、それにオスが精子をかけて受精し、受精卵は弱い粘着性で海底に沈む。タイセイヨウマダラ (Atlantic cod) とスケトウダラは、産卵生態がほぼ同じであるが、遺伝的にも姉妹種であることが明らかになったことから、スケトウダラはタラ属に変更され、その学名は *Gadus chalcogrammus* に変更された。

北日本のスケトウダラ北部日本海系群、オホーツク海系群、太平洋系群の漁獲変化の中で、特に北部日本海系群は1990年代以降激減が続いている。これは、北海道日本海沿岸の産卵場の水温が高いために再生産から加入の悪化が続いているためと考えられる。一方、北日本のマダラの系群ごとの生活史や生態について、あまり判っていない。ここでは、太

平洋の道東海域まで回遊する青森県むつ湾を産卵場とする系群について紹介する。むつ湾で産卵するマダラは、湾近くに回遊している冬に漁獲されている。過去にも、1~3月のむつ湾の海水温が低い寒冷年に漁獲が増加し、温暖年に入ると、4-5年後に産卵場に回帰する親の漁獲量が減っている。注目すべき点は、こうしたローカルな地域でも、寒冷期の長さが短くなっており、温暖化傾向が影響していると考えられる。

## 5. おわりに

2010年以降の僅か30年程度の間にも、温暖・寒冷期、局所的寒冷化や温暖化が、日本の水産資源の分布域の変化や漁獲変化をもたらしている。このような水産資源の中で、スルメイカは寿命1年で、その再生産と生息域の環境変化にたいして即応的に漁獲の増減などの変化が現れることから、これからも「環境変化の指標種」として調べて行きたい。

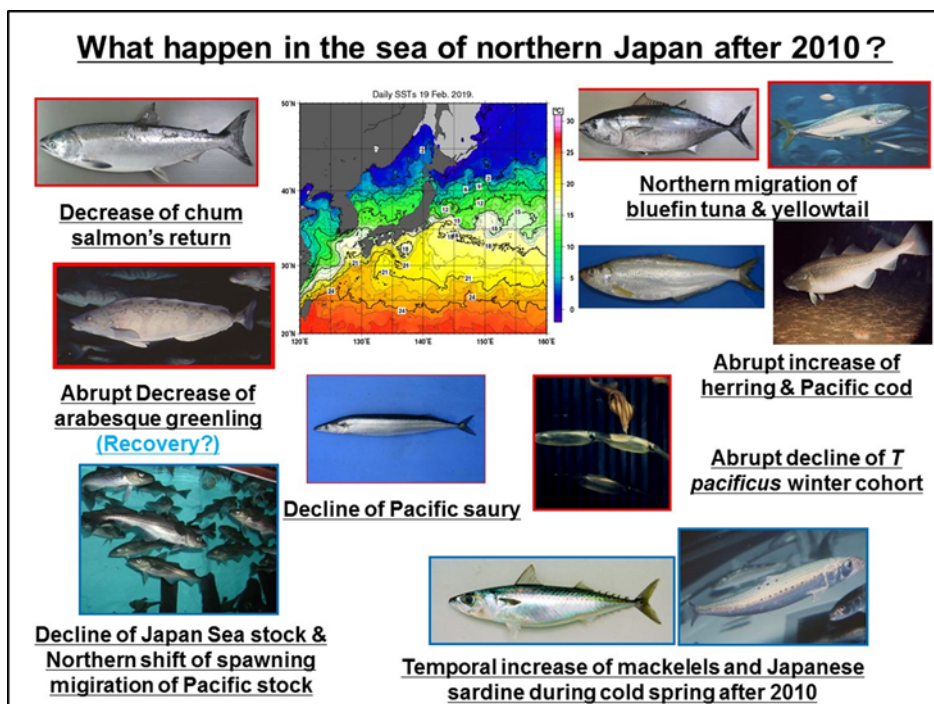


図1. 2010年以降、北日本の海で何が起きているのか？

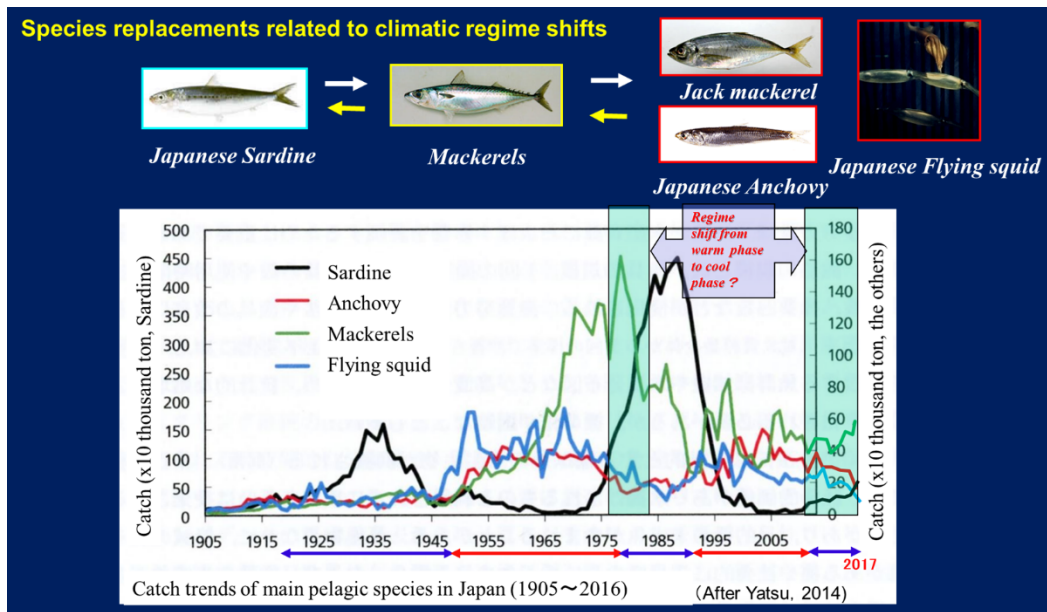


図2. 20世紀以降の主な浮魚類とスルメイカの漁獲変化と海水温の寒冷・温暖期の変化との関係 (Yatsu, 2014に、2010年以降の漁獲変化を加筆)



## **Ситуация с выловом основных морских ресурсов на севере Японии, связанным с последними изменениями климата**

Ясунори Сакурай

Международная организация по продвижению рыбного промысла и океанологии в  
Хакодате,  
НИИ головоногих в Хакодате

### **1. Введение**

В северной Японии, включая Хоккайдо, с 2010 года наблюдаются значительные изменения в вылове основных морских биоресурсов. Например, уменьшается численность популяций лососевых рыб (главным образом кета), которая мигрирует на нерест вдоль северного побережья Японии, уменьшаются запасы южного одноперого терпуга, в основном, в северной части Японского моря. Продолжает снижаться популяция минтая в Японском море, а его тихоокеанская популяция нерестится севернее, отмечается тенденция к снижению запасов сайры в Тихом океане. Тихоокеанский голубой тунец и жёлтохвост стали мигрировать на север, увеличивается популяция сельди в северояпонских акваториях и популяция трески, которая заходит на нерест в залив Муцу префектуры Аомори. Зарегистрирован значительный спад запасов тихоокеанского кальмара, в частности зимненерестующей группировки, тогда как с 2010 года, когда продолжалась холодная погода в весеннее время. Дальневосточная сардина и скумбриевые становятся больше (Рис. 1). Эти явления могут быть связаны с изменениями морской среды, происходящими в последнее время. Далее я покажу связь между динамикой вылова основных промысловых видов и изменениями в морской среде.

### **2. Изменение температуры моря в последнее время и динамика вылова основных морских биоресурсов**

По данным Японского метеорологического агентства, с XX века на всех участках акватории вокруг Японии температура поверхности моря продолжает повышаться. В частности, в центральной части Японского моря зимой она поднялась аж на 2,3°C. С другой стороны, в зимне-весенний период 2010 – 2015 гг. стали характерны локальные похолодания на Дальнем Востоке, а в летне-осенний отмечаются аномально высокие температуры вокруг главного острова Японии Хонсю и вероятность того, что это тоже могло повлиять на вылов и ареал основных морских биоресурсов – довольно высока. Например, с середины 1990-х годов уловы желтохвоста утроились, а его ареал распространения расширился до Охотского моря

вблизи Хоккайдо. Запасы южного однопёрого терпуга, нерестящегося в ноябре в основном на скалистых морских днах вдоль побережья Хоккайдо, резко сократились с 2011 года. Весьма вероятно, что высокая температура в осенний нерестовый сезон привела к ухудшению пополнения популяции от воспроизводства. С другой стороны, дальневосточная сардина, ресурсы которой увеличиваются в период холодного режима воды, в основном нерестится весной в прибрежных зонах Сикоку, и считается, что низкие весенние температуры в этом районе привели к увеличению пополнения личинок этой рыбы.

На рис. 2 представлена динамика годовых выловов в Японии дальневосточной сардины, скумбриевых, обыкновенной ставриды и тихоокеанского кальмара с XX века в связке с чередованием низкотемпературного и высокотемпературного периодов морской воды вокруг Японии. Запасы дальневосточной сардины, как правило, увеличиваются в холодный период и уменьшаются в тёплый, тогда как ресурсы тихоокеанского кальмара и японского анчоуса, наоборот, увеличиваются в тёплый период и уменьшаются в холодный. Это явление называется «явлением смены пелагических видов, отвечающей чередованию теплых и холодных температурных режимов морской воды». Здесь я бы хотел обратить внимание на увеличение популяции дальневосточной сардины и уменьшение запасов тихоокеанского кальмара и японского анчоуса из-за перехода от тепла к холоду в середине 1970-х годов. Аналогичное явление тех же видов рыб наблюдается и при переходе от тепла к холоду с 2010 года. По сравнению с предыдущими периодами разница заключается в относительном уменьшении длительности холодного периода по сравнению с теплым на фоне неуклонного потепления морской воды. Это дает основание предполагать, что восстановление запасов японского анчоуса и тихоокеанского кальмара происходит раньше, чем во время последнего перехода с холодного периода на тёплый, пришедшегося на 1988 – 89 гг.

### **3. Почему произошло снижение зимненерестующей группировки тихоокеанского кальмара?**

Продолжительность жизни тихоокеанского кальмара составляет один год. Осенненерестующие скопления нерестятся с октября по декабрь в юго-западной части Японского моря и мигрируют, в основном, по Японскому морю. С другой стороны, зимненерестующая группировка нерестится с января по март в Восточно-Китайском море, а ее личинки направляются на север Тихого океана и с начала осени подходят к северному побережью Японии, включая Хоккайдо, и потом следуют на юг Японского моря через проливы Лаперуза и Цугару. Численность

осенних стай, начиная с 2000-х годов, постепенно снижалась, а зимних резко сокращается с 2016 года.

Что касается хода нереста тихоокеанского кальмара, то нами уже на протяжении 30 лет ведутся исследования о местах нерестилищ и проводятся эксперименты по его разведению. Кладка этого вида выглядит как огромный прозрачный шар с яичной массой. Его максимальный размер составляет около 1 метра, в нём находится несколько сотен тысяч икринок размером около 1 мм. Наблюдение за проведением кладки, исследование температур воды, при которых нормально зарождаются искусственно оплодотворённые яйца, изучение оптимальных температур для активности личинок, а также присовокупление к ним условий окружающей среды в естественных нерестилищах позволили выдвинуть «гипотезу нереста тихоокеанского кальмара». Её суть заключается в последовательности таких событий, как образование кальмаром шара с яичной массой в тёплых поверхностных слоях воды с температурой от 18°C до 24°C на глубине от 100 до 500 метров на участке от континентального шельфа до подводной окраины материка, поднятие личинок на поверхность моря после вылупления в этих слоях и последующий перенос молоди на север по мере их развития. Исходя из этой гипотезы, можно представить картину, где предположительным местом нереста является область моря от континентального шельфа до его подножья с глубиной от 100 до 500 метров с температурой от 18°C и до не более чем 24°C на поверхности моря. Благодаря этой гипотезе стало возможным проследивать процесс расширения и уменьшения площади нерестилищ по годам и месяцам.

ГИС-анализ этих нерестилищ позволил нам предположить, что постепенное падение вылова зимненерестующей группировки после 2000 года обусловлена продолжительным снижением пополнения популяции из-за очередного повышения температуры воды в 24°C и более на нерестовых участках в октябре в предыдущих годах. С другой стороны, размер зимненерестующей группировки тихоокеанского кальмара в Восточно-Китайском море резко сократился с 2016 года, вероятно, в связи с уменьшением площади нерестилищ в этой акватории из-за локального похолодания воды с этого года. В частности, такое уменьшение происходило в феврале и марте 2016 и 2017 годов и в период с января по март 2018 г. Локальное похолодание воды вызвано погодными условиями с сильными зимними мусонами, которые стали более мощными с 2016 года. Это, вероятнее всего, привело к таким исходам, как уменьшение площади нерестовых участков, значительный спад выживаемости личинок в последующие годы, деградация нагульных скоплений половозрелых особей и, в конце концов, сокрушительное падение улова.

#### **4. Изменения вылова минтая и трески**

Метание икринок у минтая протекает таким образом, что в момент спаривания самец прижимается к самке сверху брюхом к ней и так оплодотворяет. Его пелагическая икра плавает отдельно. Икрометание порционное, т.е. оно происходит несколько раз в течение около одного месяца с интервалом в несколько дней. А самка трески с весом около 5 кг за раз вымётывает более миллиона яиц, самец оплодотворяет её спермой, а оплодотворённая и слабо липкая икра опускается на дно моря. Атлантическая треска (*Atlantic cod*) и минтай имеют почти одинаковую нерестовую экологию, но, поскольку было выявлено, что генетически это родственные виды, минтай был причислен к роду трески, научное название которого было изменено на *Gadus chalcogrammus*.

В северной Японии популяция минтая делится на три группировки – япономорскую, охотоморскую и тихоокеанскую, среди которых первая продолжает весьма существенно сокращаться с 1990-х годов. Предположительно это связано с продолжающимся ухудшением пополнения от воспроизводства из-за высокой температуры воды на нерестилищах хоккайдского побережья Японского моря. С другой стороны, слабо изучены жизненный цикл и экология каждой из группировок трески на севере Японии. Далее я расскажу о популяции, которая нерестится в заливе Муцу префектуры Аомори и совершает нагульную миграцию до восточного района Хоккайдо Тихого океана. Популяцию тихоокеанской трески, нерестящаяся в заливе Муцу, добывают зимой, когда она подходит к заливу. В результате многолетних наблюдений стало известно, что уловы увеличивались в холодные годы при низкой температуре моря в заливе Муцу с января по март. А через 4-5 лет после наступления тёплых годов объёмы вылова половозрелых особей, возвращающихся на нерест, уменьшаются. Следует отметить, что даже в этих локальных районах продолжительность холодного периода сокращается, и можно предполагать, что на этом сказывается глобальное потепление.

#### **5. Заключение**

За какие-нибудь 30 лет, особенно начиная с 2010 года, тёплые и холодные периоды, локальные похолодания и глобальное потепление повлекли за собой корректировку области распределения морских биоресурсов в Японии и изменение динамики вылова. Я хочу и в дальнейшем продолжать изучать биологию тихоокеанского кальмара, как эталонный вид (индикатор) изменения окружающей среды, потому что состояние его воспроизводства и изменение условий обитания

своевременно непосредственно отражаются в изменчивости его вылова из-за короткой продолжительности его жизни – всего 1 год.



Рис.1. Что происходит в морях северной Японии с 2010 года?



Рис.2. Связь между динамикой вылова тихоокеанского кальмара и основных пелагических видов с XX века и чередованием холодного и теплого периодов температуры морской воды. (В 2014 году добавлена поправка в динамику вылова после 2010 года, автор Яцу)

## ロシア極東における鰭脚類の現代研究のレビュー

V.N.ブルカノフ

(ロシア科学アカデミー極東支部太平洋地理学研究所カムチャッカ支部主任研究員)

ロシア極東海域には鰭脚類 Pinipedia のうちアザラシ科 Phocidae 5 種 (ゴマフアザラシ *Phoca largha*、アゴヒゲアザラシ *Erignathus barbatus*、ワモンアザラシ *Pusa hispida*、クラカゲアザラシ *Histiophoca fasciata*、ゼニガタアザラシ *Phoca vitulina*)、アシカ科 Otariidae 2 種 (キタオットセイ *Callorhinus ursinus*、トド *Eumetopias jubatus*)、セイウチ科 Odobenidae 1 種 (セイウチ *Odobenus rosmarus*) が棲息している。稀に他のアザラシ (カリフォルニアアシカ、ゾウアザラシ、タテゴトアザラシ) も見受けられるが、ロシア極東海域では極めて珍しい。

ロシア極東に棲息する鰭脚類 8 種のうち、ゼニガタアザラシとトドはロシアレッドデータブックに登録された保護種であり、一切の捕獲が禁止されている。

8 種の棲息域はロシア領海・経済水域外に及んでいる。そのため、定期的に移動を繰り返し、1 年のうち一定の時期を日米などロシア隣接国の領海・領土で過ごしている。

ロシア極東における鰭脚類の研究史は、18 世紀にさかのぼる。ピョートル大帝の勅命によりカムチャッカ大探検団が編成され、我が国の博物学の泰斗ゲオルグ・ステッラーやステパン・クラシェンニコフも団員に名を連ねた。2 人の若手研究者は、極東鰭脚類の種構成を明らかにし、その出現率を克明に記録したのが初の研究と言える。しかし、定期的計画的な鰭脚類研究が端緒に着くまでにはさらに約 200 年を要し、太平洋漁業研究センター (TINRO)、全ロシア海洋漁業海洋学研究所 (VNIRO) 等水産研究所が発足・整備された 1920 年代末から 30 年代初めまで待たなければならなかった。当時の研究資料や黎明期の海洋調査の成果は、セルゲイ I. アグニョーフ編『ソ連・近隣諸国の動物～肉食獣・鰭脚類』(1935 年刊) にまとめられ、現在までその学術的価値は色あせていない。

鰭脚類研究が最も脚光を浴びたのは、産業的海獣猟の最盛期だった 1950～80 年代である。TINRO 本部はもちろん相次いで発足した支部 (マガダン、サハリン、カムチャッカ、やや遅れてチュコトカ支部) にも、鰭脚研究部門が置かれ、それぞれ数十名の専属研究員を擁した。1990 年代初頭に産業レベルの海獣猟が中止されるとともに、鰭脚類研究予算が大幅に削減又は廃止され、現在研究部門は TINRO2 支部 (ウラジオストク、カムチャッカ) に残すのみとなり、要員も機械整備士を含めて約 10 名に過ぎない。

水産研究所以外にも、ロシア科学アカデミー極東支部傘下の太平洋地理学研究所、太平洋海洋学研究所、国立海洋生物研究センター、極北生物問題研究所が鰭脚類研究を行っており、それぞれ専門の研究グループや研究員を抱えている。天然資源省管轄の国立自然保護区や国立公園 (ベーリング国立公園、カマンドール、クロノツキー、マガダン、「クリル」、ラゾフ各国立自然保護区) も国の『自然誌』刊行事業の一環で鰭脚類観察を行っている。

極東海域における鰭脚類研究には、A.N.セベルツォフ記念環境・生物進化研究所、VNIRO、国立漁業開発研究所（近年廃止）といったヨーロッパロシア所在の主要研究所も参加している。

### アザラシ研究

近年実施された大規模なアザラシ研究プロジェクトのうち、特筆されるのは、オホーツク海、ベーリング海、チュコト海、東シベリア海氷上のアザラシをマルチスペクトル撮影機材と測量機材で撮影・カウントする米口共同プロジェクト BOSS (ベーリング・オホーツクアザラシ調査 Bering-Okhotsk Sea Survey) と CESS (チュクチ・東シベリアアザラシ調査 Chukchi-East-Siberian Sea Seal Survey) で、ロシアの学術機関や水産研究所の研究者も名を連ねている。

米国ポーションでは、米海洋漁業局アラスカ水産研究センター海棲哺乳類研究所スタッフが撮影を行った。氷上にいるアザラシの撮影は、事前に調整・認可済みの方法を用いて、米口同時に行った。ロシアポーションでは、AN38 ポストークと AN26 アルクチカの航空機材に、不可視光線域撮影用赤外線カメラ「マラヒート」と可視光線域撮影用の高解像デジタルカメラをそれぞれ搭載して空撮した。航空機材にはブリスターがあり、両舷に観察員を2人ずつ配置して海上を目視し音声で観察記録をファイルに録音したうえで翻訳した。すべての撮影・記録機材はシンクロ作動するよう設定し、飛行航跡は GPS ナビゲーションで記録した。飛行高度は 250～300m。このような体制で、オホーツク海とベーリング海の調査を 2012～13 年、チュクチ海、東シベリア海は 2016 年に調査した。空撮中に水中にいてカウントできなかった個体の数を把握するために、調査年に米口領オホーツク海・ベーリング海において、氷上アザラシ 4 種に発信機を装着。衛星で追跡し、氷上滞在日時と時間を計測し校正した。これらの作業により、北太平洋と北極東部のアザラシの初の氷上分布データが完成し、4 種の地域別分布が把握できた他、季節移動についても新たな知見が得られた。海氷利用頻度と同時氷上滞在頭数といった重要な情報も得られ、調査地域全域のアザラシの全個体数を概算できた。調査の成果は、米口二国間環境協定に基づく両国作業部会事務会合や国際海棲哺乳類研究会議で発表され、一般向けの学術書でも公表された。

### アシカ科研究

キタオットセイとトドの研究は伝統的に水産研究所が行ってきた。しかし、1990 年代半ばにトドが希少種として保護対象となると、ロシア科学アカデミーに研究の主導権が移り、アカデミー極東支部地理学研究所カムチャッカ支部がトドの急激な個体数減少の原因を探る国際プログラムを担当し、活発な調査を行ってきた。この国際プログラムには、ロシアの多くの学術機関や水産研究所、カマンドール、マガダン、「クリル国立自然保護区」等自然保護団体が参加した。

ロシア側の研究活動には、米学術機関や日本の北海道区水産研究所（水産庁）のスタッ

フも参画している。最近 10 年間で数 10 回に及ぶセンサスを行い、トドの上陸場の探索やロシア極東全上陸場での個体数調査、長期個体数変動（個体数変動動向、性別・年齢による生存率、季節移動、分布・分散、定住性）を調査するための仔獣標識を行ってきた。こうして得られた膨大な実測値をもとに、出生から死亡までの性別・年齢別生存率や繁殖成功率を計算、年齢構成、ロシアから日米領海への移動頻度や時期を初めてまとめることができた。この調査成果は、アジア沿岸やアラスカ水域でのトド個体数維持・管理対策の策定に役立てられるベース資料となっている。

最近 10 年間のロシア海域におけるキタオットセイの調査は、2000 年代の 10 年間と比較して頻度が大幅に下がり、1980～90 年代と比較すると落ち込みはさらに顕著になっている。クリル列島ではキタオットセイの個体数変動の追跡調査は全く行われなくなった。メードヌィ島やカマンドール諸島における上陸場観察も中止され、ベーリング島の上陸場観察も大幅に回数を減らしている。わずかにサハリン沖のチュレーニー島での定期繁殖・個体数調査が TINRO によって行われていたに過ぎない。しかし、2013 年には TINRO はこの調査も中止した。

最近 5 年間では、カマンドール諸島における調査観察を、VNIRO カムチャッカ支部のほかにカマンドール国立自然保護区が不定期に行うようになった。同保護区では、DJI 社製ファントム 4PRO 型ドローンを使って上陸場の空撮を行い、写真をもとに個体数センサスを行っている。2016 年には、ロシア科学アカデミー極東支部太平洋地理学研究所カムチャッカ支部が DJI 社製ドローンを使ったチュレーニー島オットセイ上陸場空撮方法の開発に取り組んでいる。2018 年繁殖期には、同島において 64 日間の調査日程を組み、43 日間で全島撮影を完遂させた。成果は目覚ましく、2018 年の繁殖個体数や新生仔数を新たに把握することができた。写真から個体数をカウントする作業は極めて膨大で、多くの時間を要する。カムチャッカ支部は、空撮写真からコンピューターで自動的に個体の性別・年齢を認識し、個体数をカウントするソフトの開発に取り組んでいる。チュレーニー島の上陸場で実践運用した空撮センサス方法は今後キタオットセイのみならずアザラシ類のセンサスにも応用する方向であり、キタオットセイの個体数調査に伴う作業を大幅に削減でき、データのクオリティ向上も期待される。

最近数十年間のロシア極東海域における移動性鳍脚類調査は、国際協力が活発化したこと、日米口の研究者の混成グループが立ち上がったという意味では非常に大きな成功を収めたと言える。日口の研究者で行う連絡会合も北太平洋の海棲哺乳類調査の発展に大きな意味を持っているので、個体数保全・管理の協力体制の完成に寄与するだろう。



**Краткий обзор современных исследований ластоногих  
на Дальнем Востоке России**

Бурканов В.Н.

к.б.н., вед.научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института  
географии ДВО РАН

В морях Дальнего Востока России из отряда Ластоногих (Pinnipedia) обитают пять видов семейства настоящих тюленей (Phocidae) - пятнистый тюлень или ларга (*Phoca largha*), морской заяц или лахтак (*Erignathus barbatus*), кольчатая нерпа или акиба (*Pusa hispida*), полосатый тюлень или крылатка (*Histriophoca fasciata*) и обыкновенный (курильский) тюлень или антур (*Phoca vitulina*); два вида семейства ушастых тюленей (Otaridae) - северный морской котик (*Callorhinus ursinus*) и сивуч (*Eumetopias jubatus*); и один вид семейства моржовых (Odobenidae) – морж (*Odobenus rosmarus*). Изредка встерчаются и другие виды отряда Pinnipedia (калифорнийский морской лев, северный морской слон и гренландский тюлень), но их встречи в водах Дальнего Востока России крайне редки.

Из восьми видов ластоногих фауны Дальнего Востока России два вида - обыкновенный тюлень и сивуч - занесены в Красную Книгу России и являются охраняемыми видами, добыча которых полностью запрещена.

Ареалы всех восьми видов ластоногих выходят за пределы территориальных вод и экономической зоны Российской Федерации. Таким образом, все они являются трансграничными видами, регулярно посещающими или обитающими какую-то часть года или жизни в акватории и на территории сопредельных с Россией государств, главным образом, Японии и США.

История изучения ластоногих в водах Дальнего Востока России уходит своими корнями в начало 18 века, когда по указу Петра Великого была сформирована Великая Камчатская экспедиция, в состав которой были включены первые российские натуралисты-исследователи Георг Стеллер и Степан Крашенинников. Эти молодые исследователя впервые описали видовой состав и встречаемость дальневосточных ластоногих в регионе. Однако прошло еще почти два столетия, прежде чем изучение ластоногих стало планомерным и регулярным. Это произошло в конце 20х-начале 30х гг XX века, и полностью связано со становлением и развитием рыбохозяйственных

институтов ТИНРО и ВНИРО. Результаты существовавших на то время исторических данных и первых экспедиционных исследований были обобщены в фундаментальной сводке «Звери СССР и прилежащих стран: Хищные и ластоногие», изданной в 1935 году под редакцией Сергея Ивановича Огнева. Эта работа до настоящего времени не утратила своей научной ценности.

Наиболее активно ластоногие изучались в период 1950-1980 гг, во времена интенсивного промысла. В рыбохозяйственном институте ТИНРО и целом ряде его отделений (Магадан, Сахалин, Камчатка, а позднее и Чукотка) существовали специализированные лаборатории по изучению ластоногих. В них работали несколько десятков научных сотрудников. С прекращением промышленной добычи ластоногих в начале 1990х гг финансирование исследований ластоногих было значительно снижено либо прекращено, и в настоящее время в ТИНРО сохранились лишь две лаборатории (во Владивостоке и на Камчатке), в которых работают около 10 человек, включая технический персонал.

Помимо рыбохозяйственных институтов изучением ластоногих занимались и продолжают заниматься институты Дальневосточного отделения Российской Академии Наук, в которых имеются группы или отдельные исследователи, – Тихоокеанский Институт Географии, Тихоокеанский Институт Океанологии, Национальный научный центр морской биологии и Институт биологических проблем Севера. Наблюдения за ластоногими по программе «Летописи природы» проводятся и в некоторых природных заповедниках и парках Министерства природных ресурсов – парк Берингия, заповедники Командорский, Кроноцкий, Магаданский, Курильский и Лазовский.

В изучении ластоногих в морях Дальнего Востока принимают участие и центральные институты, расположенные в европейской части России, – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, ВНИРО и недавно закрывшийся институт Гипрорыбфлот.

#### **Исследования настоящих тюленей.**

Из крупных научных проектов по изучению настоящих тюленей, выполненных в последние годы, следует отметить совместную Российско-Американскую мультиспектральную инструментальную съемку настоящих тюленей на льдах Охотского, Берингова, Чукотского и Восточно-Сибирского морей (международные проекты БОСС (Bering-Okhotsk Sea Survey) и ЧЕСС (Chukchi-East-Siberian Sea Seal Survey)), в которой участвовали ученые целого ряда Российских академических и

рыбохозяйственных институтов. В американской части ареала ледовых форм тюленей работа проводилась сотрудниками Национальной лаборатории по изучению морских млекопитающих Аляскинского рыбохозяйственного научного центра Национальной службы морского рыболовства. Съёмка тюленей на льдах выполнялась синхронно в зоне России и зоне США с использованием согласованной и заранее апробированной методики. В российской части полеты выполнялись на самолетах АН-38 «Восток» и АН-26 «Арктика», которые были оборудованы тепловизором «Малахит» для съёмки льда в инфракрасном диапазоне волн и цифровыми камерами высокого разрешения для съёмки в видимом диапазоне волн. На самолетах имелись выпуклые блистеры, через которые наблюдатели (по два с каждого борта) вели визуальные наблюдения, записывая информацию в виде звуковых файлов с последующим переводом их в текст. Работа всех приборов была синхронизирована по времени. Маршрут полета записывался с помощью GPS навигации. Полеты выполнялись на высоте 250-300 м. Обследования в Охотском и Беринговом морях проводились в 2012 и 2013 гг, в Чукотском и Восточно-Сибирском - в 2016 г. Для оценки величины пропуска тюленей, находящихся во время аэросъёмки в воде, в эти же годы в Охотском и Беринговом морях как в Российской, так и Американской частях проводилось мечение всех четырех видов ледовых форм тюленей спутниковыми метками, способными регистрировать время и продолжительность залегания животных на поверхности льда. В результате выполненных работ были получены первые инструментальные данные по распределению настоящих тюленей на льдах морей северной части Тихого океана и восточной Арктики, позволившие сделать оценку численности всех четырех видов по регионам, получены новые сведения о миграциях разных видов тюленей в различные сезоны года и важная информация об интенсивности и частоте использовании тюленями льда, которая была использована для оценки общей численности ледовых форм тюленей во всем обследованном районе. Результаты исследований были представлены на серии рабочих совещаний Российско-Американской рабочей группы в рамках двухстороннего Соглашения в области окружающей среды, на нескольких международных научных конференциях по изучению морских млекопитающих и опубликованы в открытой научной литературе.

#### **Исследования ушастых тюленей.**

Традиционно в прошлом изучением северного морского котика и сивуча занимались рыбохозяйственные институты. Однако с внесением сивуча в список охраняемых видов в середине 1990х гг инициатива изучения этого вида перешла в

институты Российской академии наук. Наиболее активные исследования сивуча проводились в Камчатском Филиале Тихоокеанского Института Географии ДВО РАН (КФ ТИГ ДВО РАН) по международной программе изучения причин катастрофического сокращения численности вида. В этой программе с российской стороны принимали участие многие академические и рыбохозяйственные институты, а также природоохранные организации – заповедники Командорский, Магаданский, Курильский и др. В работах российских исследователей принимали участие и сотрудники различных научных институтов США и Национального рыболовного института Хоккайдо (Агентство по рыболовству Японии). В последнее десятилетие проведены десятки экспедиций по обследованию лежбищ сивуча и проведению учета животных на лежбищах во всех регионах Дальнего Востока России, проводится регулярное мечение новорожденных детенышей для многолетних демографических исследований (слежения за направлением изменения численности, выживаемостью животных разного пола и возраста, миграционной активности, дисперсией, филопатрией и др.). Впервые на большом фактическом материале были сделаны расчеты выживаемости и успеха размножения животных разного пола и возраста на протяжении всей жизни, получены данные о популяционной структуре вида и интенсивности миграций животных из вод России в воды США и Японии. Проводимые исследования являются базовыми для планирования мероприятий по сохранению и управлению популяциями сивуча у побережья Азии и в водах Аляски.

В последнее десятилетие исследования северного морского котика в водах России в значительной степени сократились, по сравнению с предыдущим десятилетием XXI века и особенно 1980-90ми годами XX века. Совершенно не проводились наблюдения за изменением численности котика на Курильских островах. Были прекращены наблюдения на двух лежбищах котиков на о. Медный на Командорских островах, а интенсивность наблюдений за видом на лежбищах о. Беринга значительно сократилась. Регулярные наблюдения проводились сотрудниками ТИНРО лишь за размножением и численностью котика на о. Тюлений у побережья о. Сахалин. Однако с 2013 года и эта часть исследований со стороны ТИНРО прекращена. Помимо КачатНИРО, в последние 5 лет нерегулярные наблюдения на Командорских островах проводят сотрудники заповедника Командорский. Они делают съемку лежбищ с использованием квадрокоптера DJI Фантом 4 ПРО и ведут подсчет животных по фотоснимкам. В 2016 г КФ ТИГ ДВО РАН также начал разработку методики аэрофотосъемки лежбища северного морского котика на о. Тюлений с использованием беспилотных летательных аппаратов

компании DJI. В 2018 г в сезон размножения полная съемка всего лежбища котиков на этом острове выполнялась в течение 43 из 64 дней работы сотрудников на острове. Результаты работы оказались успешными - получены новые сведения о численности размножающихся котиков и количестве новорожденных щенков в 2018 г. Визуальный подсчет котиков на фотоснимках является крайне трудоемким процессом, занимающим много времени. Сотрудники КФ ТИГ ДВО РАН работают сейчас над программой автоматического подсчета котиков разного пола и возраста на аэрофотографиях с использованием компьютерного зрения. Новая методика аэрофотосъемки лежбища котиков на о. Тюлений может быть использована и для других лежбищ северного морского котика, и также для лежбищ других видов тюленей. Новый метод позволит значительно снизить трудоемкость работ по мониторингу численности северного морского котика на лежбищах и улучшит качество получаемых данных.

Исследования трансграничных видов ластоногих в морях Дальнего Востока России в последние десятилетия имели значительный успех именно в тех направлениях, в которых происходило активное международное сотрудничество и работали смешанные группы ученых России, США и Японии. Проводимые координационные совещания между учеными России и Японии имеют важное значение для активизации исследований морских млекопитающих в северной части Тихого океана и способствуют сотрудничеству по сохранению и управлению популяциями этих животных.

## 北海道周辺海域におけるトドとゴマフアザラシの現況

小林万里（東京農業大学） 山村織生（北海道大学大学院水産科学研究院）

### 1. 北海道に分布する鰭脚類

北海道周辺ではアザラシ科5種（ゼニガタアザラシ、ゴマフアザラシ、ワモンアザラシ、アゴヒゲアザラシおよびクラカケアザラシ）に加えてアシカ科2種（トドおよびキタオットセイ）が分布する。ゼニガタアザラシは北海道南東岸に数カ所の繁殖場を持つ、国内で唯一恒常的に繁殖をおこなう種であり、ゴマフアザラシは南西岸を除く広い範囲に分布する。残り3種はオホーツク沿岸を中心とした偶発的な出現にとどまる。トドとキタオットセイはほぼ全道沿岸に出現し、本州北端に位置する青森県沿岸からの報告もある。両種はいずれもロシア繁殖場に起源をもち、北海道沿岸で晩秋から春季を過ごし、夏季にロシア水域の繁殖場に戻るのが一般的な季節パターンである。本報告では上記鰭脚類7種のうち、トドとゴマフアザラシについて近年の分布状況を中心に報告する。

### 2. 漁業被害

鰭脚類はその機会的な摂餌習性（opportunistic feeding habits）ゆえに漁業との軋轢が生じやすい。特にトドに由来する被害報告は最近20年間10億円を超え続けており、最大の被害要因獣である。2008年以降はアザラシ類とオットセイによる被害の集計も始められており、いずれも2~3億円以下で推移してきた。2010年代前半には3つのカテゴリーの合計が20億円を超え、次節で述べる低調な漁業資源の状態と併せて、沿岸漁業の持続性への脅威となっていた（図1）。

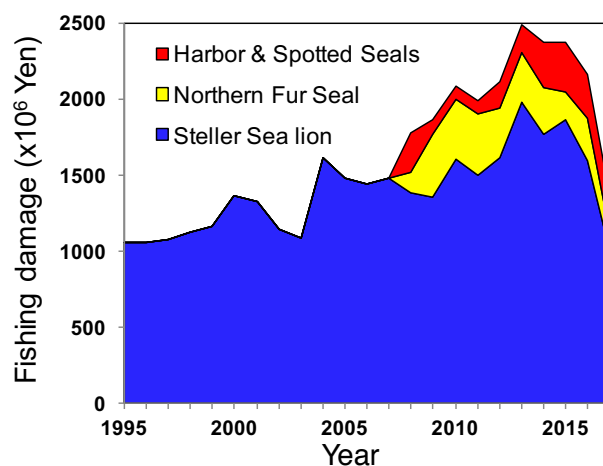


図1. 北海道沿岸における鰭脚類による漁業被害額の年変化。

### 3. 漁業資源の状態

漁業被害の背景として、資源状態の劣悪さが挙げられる。特に被害が多い日本海において最も主要な漁業資源であるホッケ、スケトウダラおよびイカナゴ類は、いずれも最近20年間に急激かつ深刻な漁獲量の低下を示した（図2）。この最大の原因は1990年代以降の

日本海の高水温化による再生産の失敗 (reproduction failures)であったが (Funamoto et al., 2016)、その状態で魚獲圧力を維持し続けた管理失敗の側面も否定し得ない。沿岸漁業にとって重要な漁獲対象であるミスダコとマダラも長らく低迷が続いたが、2016 年以降回復の兆しがある。また、ニシンはローカルな資源でありながら、2000 年代後半以降に 2000 トン程度の魚獲量を維持しており、トドは本種の来遊に同調して漁が盛期を迎える 2 月に石狩湾に集中する傾向を示していた。以上のように、2010 年代半ばまでの漁業資源の状態は良好とは言い難かったが、少ない資源を奪い合う形で鰯脚類と漁業の軋轢が大きくなったと考えられる。

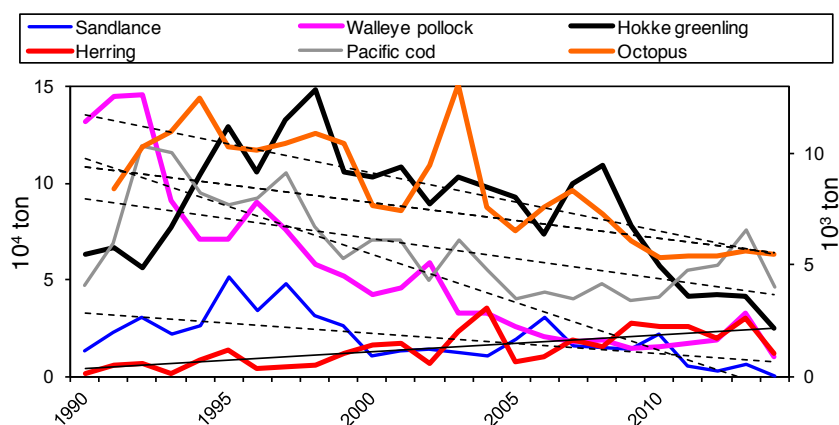


図 2. 北海道日本海沿岸における主要漁業資源（イカナゴ、スケトウダラ、ホッケ（左目盛り）ニシン、マダラ、ミスダコ（右目盛り））の魚獲量の推移。

#### 4. トドの採捕管理：保全から個体数管理へ

トドは日本で長らく採捕の対象とされてきた。その目的は漁業被害の抑制であり、捕獲物の一部は食用として利用されている。かつて捕獲に制限はなかったが、世界的な保護機運の高まりを受けて 1994 年から年間の捕獲頭数に上限が設けられた。漁業被害の増加を背景に 2005 年より来遊量調査を含む総合的調査が国費により開始され、2010 年からは保全を主目的とした PBR 法 (Potential Biological Removal; Wade, 1995) による管理が開始された。

本種は 2012 年まで IUCN と日本国政府により絶滅危惧の指定を受けてきた (Gelatt & Sweeney, 2016)。しかし、北太平洋東部に分布する亜種と西部亜種のうちオホーツク～千島に分布する部分が回復傾向にあることから、準絶滅危惧 (Near threatened) にダウングレードされた。この変化を受けて、日本国政府はそれまでの「保全的な採捕管理」から「個体数管理」へと方針を変更した。新たな管理の要諦は来遊個体数の削減である。ロシア水域に起源を有する個体群全体を管理するのは不可能なことから、「北海道水域に来遊する個体群」を仮定し、これを 2014/15 年来遊期から 2023/24 年来遊期の 10 年間で 40% 減少させること、および絶滅確率の最小化を管理目標とした。過去の採捕記録と来遊量調査結果から動態モデルを構築し、シミュレーションにより管理目標を達成するための年間採捕頭数は 500 頭程度とされ、現在その方法による管理が行われているところである。

直近の統計によると漁業被害は最大時の半分程度まで大幅な減少を示しており、漁業者からも「トドを沿岸で見かけなくなった」という声をよく聞くようになった。一方、北海道北端の宗谷岬に近い岩礁では、数千頭にも上る、これまでにないトドの濃密な集群が見られるようになっており、トドの分布変化が起こっていることは確実である。2014年以降に採捕の圧力が高まったこともその原因の一つと考えられるが、宗谷海峡周辺での餌生物の動態が変化した、つまりイカナゴやニシンと言った餌として好まれる魚種(forage fishes)がこの海域で急激に増加した可能性もある。

#### 5. 北海道におけるゴマフアザラシの現況

北海道へ来遊するゴマフアザラシの生態は、1900年代と比べ2000年代に入り大きく変化した。1900年代には、礼文島のトド島以外ほとんど来遊のなかった北海道日本海側へ多くの個体が南下来遊するようになり、さらにその時期も、早くから来遊、遅くまで滞在するようになった。さらに、新しい上陸場が形成され、来遊個体数も年々増加、さらに明らかに成獣個体の来遊も確認された。礼文島のトド島では新生児の確認もされ、繁殖場所としても利用されるようになった。このような変化は、流氷の減少が影響している。流氷の最盛期である2月末の状況を比較すると、かつては宗谷海峡を流氷が埋め尽くしていたが、近年は広く海水面が表れている。本種は、3月に流氷上で出産するため、オホーツクの流氷帯へ移動する必要があるが、日本海側を利用していても、流氷が減少したことにより、その移動が可能となった。一方で、このように、これまで来遊のなかった地域に、多くの個体が、長期間滞在するようになり、漁業被害が深刻化している。本種を管理するためには、これらの個体が、いつ、どこに、どれだけ来遊してきているかという季節変動と滞在中はどこで採餌・休息しているかの行動や、どこから来ているかの由来を把握する必要がある。

#### 6. ゴマフアザラシの個体数の季節変動と由来推定

複数の新しい上陸場が形成された北海道日本海側において、来遊個体の季節変動や発信機調査により滞在中の行動や由来を研究してきた。

礼文島は、1990年代まではトド島のみを上陸が確認されていたが、2000年代になりトド島以外に、4つの上陸場が形成された。トド島は冬季に個体数が増加し、1,000頭以上の個体に利用されており、他の上陸場よりも利用個体数が多い場所であった。礼文島本土北部にある浜中、金田の岬は夏季に、上泊は冬季に個体数が増加し、本土南部のベンサシは春季に個体数が増加する。上陸場によって、個体数の季節変動が異なったが、礼文島全体で考えると周年利用できるようになり、冬季にピークがある季節変動が見られた。さらに、発信機調査(n=8)により、これらの個体が礼文島に滞在中は礼文島周辺のきわめて沿岸で採餌していること、礼文島を去るときにはどの個体も間宮海峡へ移動したため、間宮海峡由来の個体に利用されていると考えられた。

抜海港の個体数は、冬季に個体数が増加する季節変動がみられ、多いときには1,400頭以上の個体に利用されていた。さらに発信機調査(n=25)により、抜海利用個体は、抜海港から北は500km、南は300kmに及ぶ広い範囲を餌場に利用しており、それらの餌場と抜海港を行き来していることが明らかになった。餌場までの距離と上陸頻度には反比例の関係



が見られたが、どの個体においても抜海港が休息のための上陸場として重要であることが示唆された。またこれらの個体は、間宮海峡かサハリンに移動したため、両地域由来の個体から抜海港に利用されていると考えられた。

留萌地域の天売島と焼尻島の季節変動は、冬季と春季に個体数が増加する二峰性が見られた。また、発信機調査により、天売島 (n=4)・焼尻島 (n=3) とともに餌場は両島の周辺であった。焼尻島での冬季個体 (n=2) は、全て間宮海峡に移動し、天売島および焼尻島の春季個体 (n=5) は、全てサハリンに移動した。これらの事実により、冬季個体は間宮由来の個体で、春季個体は抜海港を冬季に利用していたサハリン由来個体が、春季にさらに南下していると考えられ、冬季と春季で個体が入れ替わっている可能性も推測された。

## 7. 今後の日露協力

環境変動が激しい近年、その影響により野生生物の資源量や移動生態なども刻々と変化している。特に、トドやアザラシのように日露を移動する生物にとって、日露の研究連携は必要不可欠である。さらに、これら生物は、生態系の一員でもあり、かつ海域の高次捕食者であることから、環境変動のモニタリング種として注目しておく必要がある。そのためにも、この日露生態系の枠組みを利用して、お互いの地域の状況を情報交換し、日露の生態系保全に貢献することが重要である。

Funamoto, T., O. Yamamura, O. Shida, K. Itaya, K. Mori, Y. Hiyama and Y. Sakurai (2014). Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan. *Fisheries Science* **80**: 117-126.

Gelatt, T. & Sweeney, K. 2016. *Eumetopias jubatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T8239A45225749.

<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T8239A45225749.en>.

Wade, P. R. (1998). Calculating limits to the allowable human-caused mortality of cetaceans and pinnipeds. *Marine Mammal Science* **14**: 1-37.

## ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ С СИВУЧАМИ И ЛАРГОЙ В МОРСКОЙ АКВАТОРИИ ХОККАЙДО

Мари Кобаяси  
Токийский университет сельского хозяйства  
Орио Ямамура  
Университет Хоккайдо,  
Аспирантура рыбохозяйственных наук

### 1. Распределение ластоногих на Хоккайдо

Помимо пяти видов семейства тюленей (обыкновенный тюлень, ларга, кольчатая нерпа, морской заяц и полосатый тюлень) в акватории вокруг Хоккайдо обитают ещё два вида семейства ушастых тюленей (сивучи и северные морские котики). Обыкновенные тюлени являются единственным видом, постоянно размножающимся в Японии и имеющим несколько мест размножений на юго-восточном побережье Хоккайдо, а ларги широко распространены по всем береговым линиям Хоккайдо за исключением его юго-западного побережья. Остальные три вида встречаются в Японии лишь случайно, в основном, на Охотском побережье. Сивучи и северные морские котики появляются практически на всём побережье Хоккайдо, а также есть сообщения, что их видят на побережье префектуры Аомори в северной оконечности главного острова Хонсю. Оба вида размножаются на лежбищах России, обычно мигрируют вдоль побережья Хоккайдо с поздней осени и до весны и летом возвращаются на лежбища в российских водах. Из семи вышеперечисленных видов ластоногих в этом отчёте мы коснёмся распределения сивучей и обыкновенных тюленей в последние несколько лет.

### 2. Ущерб рыболовству

Ластоногие часто вызывают проблемы в рыболовстве из-за своего кормового поведения. В частности, сивуч, несомненно, является самым большим вредителем для рыболовства – он нанес рыбному промыслу ущерб в размере 1 миллиарда иен за последние 20 лет. По начатому с 2008 года подсчету общего ущерба, который потерпело рыболовство от тюленей и морских котиков, он составлял до 200-300 миллионов иен ежегодно. В первой половине 2010-х годов общий ущерб по трём категориям превысил 2 миллиарда иен (о чем будет говорится в следующем разделе) и наряду с плохим состоянием рыбных ресурсов эти животные ставят под угрозу устойчивость прибрежного рыболовства (рис 1).

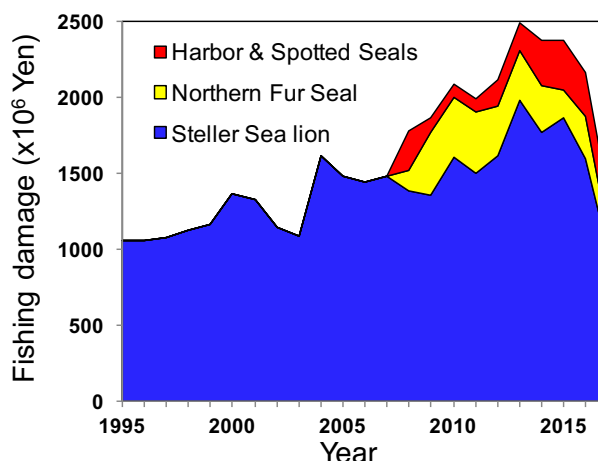


Рис. 1. Динамика ущерба, наносимого ластоногими морскому промыслу на побережье Хоккайдо, по годам

### 3. Состояние рыбных ресурсов

Фоновым обстоятельством ущерба морскому промыслу является плохое состояние с рыбными ресурсами. В частности, в Японском море, промысловые районы которого наиболее сильно страдают от животных, за последние два десятилетия отмечается сокрушительное падение уловов одноперого черпуга и песчанки, представляющих собой самые важные промысловые объекты (рис. 2).

Основной причиной такого падения был неудачный репродуктивный процесс рыб из-за повышения температуры Японского моря с 1990-х годов (Funamoto et al., 2016). Однако нельзя отрицать и неудачи в управлении ресурсами, при этом запасы рыбы по-прежнему подвергались давлению промысла на предыдущем уровне. Объёмы вылова гигантского осьминога и тихоокеанской трески, которые являются важными промысловыми видами для прибрежного рыболовства, также долгое время оставались на низком уровне. Но с 2016 года наблюдаются признаки восстановления их запасов. К тому же, сельдь формирует сугубо локальные скопления, но с конца 2000-х годов ее вылов поддерживается на уровне около 2000 тонн. А сивучи стали концентрироваться в заливе Исикари в погоне за этой рыбой в феврале, когда промысловый сезон в самом разгаре. Как было описано выше, до середины 2010-х годов состояние рыбных ресурсов было далеко не хорошим, что трения между ластоногими и рыболовством обострялись из-за конкуренции за небольшое количество ресурсов.

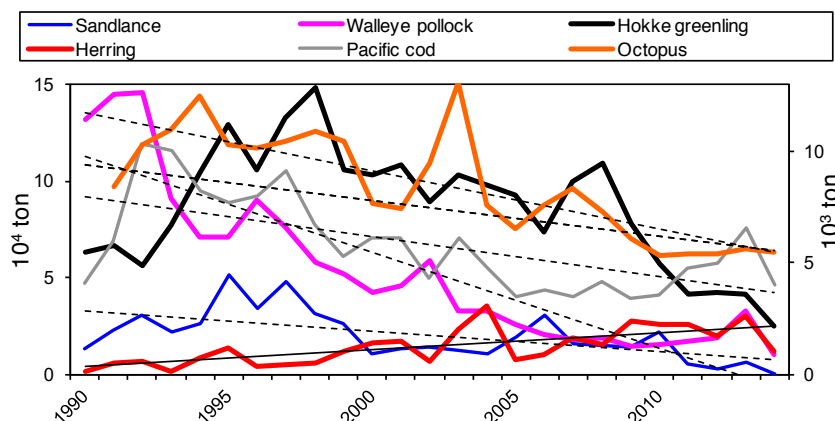


Рис. 2. Изменения объемов вылова основных рыбных ресурсов вдоль побережья Хоккайдо в Японском море (песчанка, минтай, южный однопёрый терпуг (по шкале слева), сельдь, тихоокеанская треска, гигантский осьминог (по шкале справа))

#### 4. Отлов сивучей: от сохранения популяций к контролю численности животных

Сивуч уже давно является объектом отлова в Японии. Цель отлова состоит в минимизации ущерба рыболовству, при этом часть добытых туш используется в производстве продуктов питания. В прошлом не было никаких ограничений на отлов, но в связи с ростом глобального настроения по защите животных с 1994 года действуют ограничения на количество отлова. На фоне возрастания ущерба рыболовству с 2005 года государством стали выделяться средства на комплексные исследования, включая исследования по миграции животных, а с 2010 года начался контроль по методу PBR (Потенциального биологического изъятия; Уэйд, 1995) главным образом для сохранения вида.

Этот вид до 2012 года был признан находящимся под угрозой МСОП и правительством Японии (Gelatt & Sweeney, 2016). Однако, он перенесен из списка видов в уязвимом положении в категорию близких к уязвимому положению (NT), так как среди его подвидов – западного и тихоокеанского (обитающего в северо-восточной части Пацифика) часть популяции последнего, распространенная от Охотского моря до Курильских островов, восстанавливается. В соответствии с этим правительство Японии перешло курсом с «контроля отлова для сохранения вида» на «контроль за количеством особей». Суть нового контроля заключается в сокращении количества мигрирующих особей. Ввиду невозможности контролировать всю популяцию, зарождающуюся в водах России, правительство прогнозировало численность мигрирующих на Хоккайдо особей, на основании чего поставило целью две противоположных друг другу задачи - минимизацию вероятности исчезновения вида и снижение на 40% мигрирующих в воды Хоккайдо особей в течение 10 лет с сезона миграции 2014/15 гг. до 2023/24 гг. Была построена модель динамики численности и затем симулятором определено, что для достижения цели контроля

необходимо ежегодно отлавливать порядка 500 голов. В настоящее время контроль осуществляется по этой теории.

Согласно последним статистическим данным, ущерб, наносимый рыболовству резко сократился - примерно на половину от максимального, и сейчас рыболовы стали часто говорить, что сивучи исчезли с побережья. С другой стороны, на береговых рифах возле пролива Лаперуза в северной части Хоккайдо сейчас можно увидеть весьма непривычную картину – беспрецедентно плотное скопление сивучей из несколько тысяч голов. Несомненно, распределение сивучей меняется. Одной из причин является, может быть, начавшийся с 2014 года отлов, но, вероятнее всего, изменение состояния кормовой базы вокруг пролива Лаперуза. Запасы таких видов рыб, каких животные предпочитают добывать, например, песчанка и сельдь, могли резко возрасти в этой акватории.

#### 5. Текущее состояние с ларгой на Хоккайдо

Экология ларги, мигрирующей на Хоккайдо, сильно изменилась с 2000-х годов по сравнению с 1900-ми годами. В 1900-х годах они практически не появились на Хоккайдо на побережьях Японского моря за исключением острова Тодо вблизи острова Ребун. Сейчас многие особи стали мигрировать на юг, более того, они остаются там с самого начала номадного периода и до самого его конца. Кроме того, они устраивают себе новые лежбища и число мигрирующих особей растёт из года в год. Также было установлено, что среди них присутствуют и взрослые особи. На острове Тодо рядом с островом Ребун были также обнаружены новорождённые щенки, то есть они стали использовать это место и для размножения. На этом сказывается сокращение дрейфующих льдов. Сравним ситуацию в конце февраля - это период пика дрейфующих льдов. Некогда эти льды полностью заполняли пролив Лаперуза, но в последние годы в это время там простирается водная гладь. Щенение этого вида, как правило, происходит в марте на льду. Для этого животные должны переместиться в Охотский пояс льда и такое перемещение стало возможным даже со стороны Японского моря, благодаря уменьшению ледяного покрова. С другой стороны, как было описано выше, многие особи стали проводить длительный лежбищный период в районах, где ранее их не было, и наносить гораздо больший ущерб рыболовству. Для контроля численности этого вида необходимо чётко понимать сезонные колебания - когда, куда и сколько этих особей мигрирует, а пока они находятся на островах - где они питаются и отдыхают и откуда они приплывают.

#### 6. Предположительные места щенения ларги и сезонные колебания численности особей

На побережьях Японского моря на Хоккайдо, на которых образовались новые лежбища, нами были изучены места деторождения ларги и ее поведения в местах пребывания с помощью GPS-датчиков, а также сезонные колебания мигрирующих

особей.

Если до 1990-х годов ларги наблюдались только на острове Тодо, то с наступлением нового тысячелетия они стали облюбовать ещё четыре лежбища за пределы этого острова. В зимнем сезоне число особей на острове Тодо растёт и достигает более 1000 голов. Остров Тодо по числу особей был самым большим лежбищем среди прочих. На мысах Хаманака и Канэда в северной части Рэбун количество особей увеличивается летом, а на Камидомари - зимой, а на мысе Бэнсаси в южной части острова - весной. Сезонные колебания числа особей варьировались в зависимости от лежбищ, но если рассматривать остров Ребун в целом со всеми прилегающими островами и скалами, то ларги стали использовать его круглый год, и также пик численности особей приходится на зиму. Согласно подсчёту по GPS-датчикам ( $n = 8$ ), выяснилось, во-первых, когда животные находились на острове Ребун, они активно добывали пищу в мелководных зонах в непосредственной близости от берегов острова, и во-вторых, когда покидали остров Ребун, все они переместились к Татарскому проливу. Следовательно, остров Рэбун посещают животные, родом из Татарского пролива.

Было отмечено, что в порту Баккай число особей зимой увеличивается, достигая до 1400 голов и более в пиковое время. Кроме того, подсчёт по GPS датчикам ( $n = 25$ ) показал, что особи, заходящие в порт, добывают пищу на широкой территории, простирающейся на 500 км к северу и 300 км к югу от порта и перемещаются между зоной питания и морским портом. При этом расстояние до места кормления и количество их заходов в порт обратно пропорциональны. Однако для любой особи порт Баккай важен как лежбище для отдыха. Поскольку эти особи уплывали к Татарскому проливу или на Сахалин, порт Баккай посещают исключительно особи родом из обоих районов.

Для сезонных колебаний на островах Тэури и Ягисири в административном округе Румои характерно наличие двух пиков численности – зимнего и весеннего. Согласно исследованию с помощью GPS датчиков места охоты находились вокруг островов Тэури ( $n = 4$ ) и Ягидзири ( $n = 3$ ). Все зимние особи ( $n = 2$ ) на острове Ягидзири уходили к Татарскому проливу, а все весенние с островов Тэури и Ягидзири ( $n = 5$ ) - на Сахалин. Эти факты дают основание полагать, что зимние особи являются «татарскими», а весенние особи, которые происходили с Сахалина, зимой лежали в порту Баккай и весной идут дальше на юг к этим двум островам. Таким образом, предположительно сахалинские особи посещают острова Тэури и Ягисири после ухода «татарских» (зимних) особей.

## 7. Японо-российское сотрудничество в будущем

В последние годы происходят серьёзные экологические изменения и под их влиянием биоресурсы в целом и сезонные миграции животных постоянно меняются. В этом плане научное сотрудничество между Японией и Россией имеет важное

значение для таких животных, как сивучи и тюлени, мигрирующие между Японией и Россией. Кроме того, поскольку эти животные также являются членами экосистем и относятся к хищникам первого порядка в морской акватории, их необходимо наблюдать как индикатор изменений окружающей среды. Для этого нам важно обмениваться информацией о состоянии популяций в своих регионах в рамках японо-российского сотрудничества в области окружающей среды и так содействовать сохранению экосистем Японии и России.

### **Литература**

- Funamoto, T., O. Yamamura, O. Shida, K. Itaya, K. Mori, Y. Hiyama and Y. Sakurai (2014). Comparison of factors affecting recruitment variability of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the Pacific Ocean and the Sea of Japan off northern Japan. *Fisheries Science* **80**: 117-126.
- Gelatt, T. & Sweeney, K. 2016. *Eumetopias jubatus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T8239A45225749. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-1.RLTS.T8239A45225749.en>.
- Wade, P. R. (1998). Calculating limits to the allowable human-caused mortality of cetaceans and pinnipeds. *Marine Mammal Science* **14**: 1-37.

## オホーツク海タウイ湾におけるオオワシの観察

I.G.ウテヒナ（連邦国家機構マガダン国立自然保護区）

E.R.ポターポフ（プリン・アフィン大学・米国ペンシルベニア州）

M.J.マックグラディ（国際鳥類研究所・オーストリア・クレミ）

マガダン市が面するタウイ湾は、オホーツク海最大規模の湾で、60 kmに渡って大陸に切れ込んでいる。湾口の広さは 145 km、湾内最大幅は 220 kmに及ぶ。タウイ湾に流入するサケ遡上河川のうち最長はタウイ川で、総延長 378 km、集水域は 25900 km<sup>2</sup>もある。湾内にはマガダン国立自然保護区の飛び地が 2 つあり、一つはタウイ川流域とコニ半島沿岸、もう一つはタラン島連邦鳥獣保護区である（図 1）。

タウイ湾はオホーツク海北部でも有数の生物生産量を誇り、プランクトンの生物量は近隣海域の数倍 [アフナーシエフ他 1994] にもなり、オホーツク海に臨む岩礁地帯には実にさまざまな種類の海鳥が数多くのコロニーを形成している。湾内のタラン島、ウマラ島、トゥリー・ブラタ島、シェリカン島には、海鳥 11 種類の入り混じる 4 つの大きな営巣地がある。近年の個体数調査（2005～2009 年）で湾内の海鳥の総数は、82 万 5700 羽と推定されている [ゼレンスカヤ 2013]。

マガダン極北生物学研究所の研究者は 1980 年代末からタウイ湾の海鳥を研究しており、コロニーで魚食性の海鳥（ミツユビカモメ *Rissa tridactyla*、ヒメウ *Phalacrocorax pelagicus*、ケイマフリ *Cephus carbo*、ツノメドリ *Fratercula corniculata*、エトピリカ *Lunda cirrhata*）の個体数が優勢となる一方、プランクトンを捕食するエトロフウミスズメ *Aethia cristatella*、ウミオウム *Cyclorhynchus psittacula*、ウミスズメ *Synthliboramphus antiquus* は個体数が減少し、繁殖がうまくいかない事例が多くなってきたと指摘する [ゼレンスカヤ 2013; アンドレーエフ他 2010; ゴルボワ 2018]。

原因の一つは、大型のプランクトンの分布に密接に関連する湾内海水面温度の変化であろう。水温の低い年はプランクトンを好む鳥には好都合で、高水温の年は魚食性の鳥に有利となることが分かっている [Kitaysky, Golubova, 2000]。

オオワシはロシア極東で営巣する固有種で、各種レッドデータブックに掲載されている希少種でもあり、日口の二国間渡り鳥保護協定の保護対象種に指定されている。我々は、オホーツク海北部沿岸で 27 年間オオワシの調査を行って、この地域になわばりをもつつがいの分布と密度を明らかにした。また、捕食行動、渡りを観察し、この北オホーツク個体群の個体数と雛の数、繁殖の条件を研究した [Potapov and all., 2000, 2000a; Utekhina and all., 2000; MacGrady and all., 2000; Utekhina and all., 2011; ウテヒナ 2015]。調



査で分かったのは、マガダン地方で繁殖する海ワシ類は、主に北海道で越冬することである。図に示す通り、北海道内のカラー枠線で囲んだ地域にロシア生まれの個体が何度も確認されており、北海道が越冬地として定着していることが裏付けられた[ウテヒナ他 2013]。タウイ川流域のマガダン国立自然保護区管理地域では、1995年に北海道で日本側研究者が標識した個体が渡ってきて、少なくとも2011年から繁殖している。2015年夏に最後に確認された時点で、この個体の年齢は25歳以上達したことになる。標識個体のうち野生の状態を確認された最高齢の記録である [ウテヒナ 2018]。

調査によって、海岸部に棲む個体と、河川沿いの個体とでは餌と繁殖成功率に差のあることが分かった。そのため、観察対象のつがいをその生態によってサケ遡上河川沿いに営巣する「河川群」と、海岸部に営巣する「海岸群」に区分することにした。

2006年から、マガダン国立自然保護区管理区域のタウイ川流域とオホーツク海タウイ湾沿岸（マガダン国立自然保護区管理区を含む）をモデル地区に指定し、それぞれ「河川営巣個体群」と「海岸営巣個体群」を定期的に観察することとし、毎年62～144区域（なわばり）で定期観察を行っている。このうち河川営巣群の観察区域数は24～34区、海岸営巣群は38～110区である。

タウイ湾は、太平洋から遡上するサケ類が産卵する河川と海鳥のコロニー、そして干潮時には広大な干潟になる環境に恵まれ、オオワシの営巣に非常に適している。タウイ川下流地域の巣の密度は河川長10 kmあたり3つがいであり、オホーツク海北部の営巣地のなかで最高密度となっている。

また、河川部より海岸部のつがいのほうが、繁殖成功率が高い（図2）のは、獲物の密度と種類の多さが関係しているのだろう。海岸部では、海鳥と魚類を捕食しているが、河川部の個体の餌は魚類に限られるからである（図3）。

つがいの雛の数や繁殖の成否には、様々な要素が絡んでいるが、特に巣の近くの河川水位の増減大きい。

極東の固有種であるオオワシは、サケ類を特に好む種である。しかし、タウイ湾でのカラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* の遡上は7月末から8月初めに集中する。シロザケ *Oncorhynchus keta* の遡上は7月中旬から9月いっぱい続く（図4）。そのため、オオワシは、営巣が始まるとまず雑魚を捕食する。タウイ川では5月から6月にかけてカラフトマスとシロザケの稚魚が降海する。これらの稚魚を捕食するのがアメマス *Salvelinus leucomaenis*、オシヨロコマ *Salvelinus malma* やキタカワヒメマス（アークティックグリーンリング） *Thymallus arcticus* で、これらがオオワシの餌となる（図5）。

雛が孵ると、生後2週間が生死を分ける重要な時期である。孵化後数日間母鳥と雛が十分な餌をもらえないと、親鳥は雛を巣から投げ捨ててしまう。雛が2羽以上孵化した時、2番目3番目に生まれた雛は、普通十分な餌がもらえず死んでしまう（図6）。タウイ川では、雛が孵化するのは6月上旬から中旬にかけてで、オホーツク海北岸の河川で春の融雪によって増水が起きる時期と重なる。6月上中旬の増水で水が濁ると、魚を捕獲しにくくなり、

雛の衰弱や死につながるのである。

オホーツク海北岸河川の水位の上昇に影響を与えるのは、冬の積雪量と湿度、降水日数と気温である。1990年代は全般的に、2000年代よりも6月の水量が比較的少なかった(図7)。巣立ちに成功した巣の数が最も多いのは、6月の上～中旬のタウイ川の水位が4mを超えなかった年である(1993、2002、2010、2012年)。反対に少なくなるのは、水位が5mを超えた2009、2011、2007年であった(図8)。

## 参考文献

- アンドレーエフ A.V.、コルボワ E.Yu. 2018 タラン島のプランクトンを餌とするウミバト属について～営巣の現状と21世紀タウイ湾沿岸生態系の変化// 2018年9月18～22日ロシア連邦マガダン市『国際学術会議極北地方の生物の諸問題』予稿集4頁 マガダン
- アンドレーエフ A.V.、ゴルボワ E.Yu.、ズバーキン V.A.、ハリトノフ S.P. タラン島コロニーにおける海鳥の個体数～10年間の傾向// ロシア科学アカデミー極東支部北東学術研究センター紀要 30～42頁、2010年
- アフナーシェフ N.N.、ミハイロフ V.I.、チェルビゾフ B.P.、カラセフ A.N. 1994 オホーツク海タウイ湾におけるサケ類稚魚の餌資源の発生条件と構成、分布// 国立河川湖沼漁業研究所研究紀要第308号 25～41頁。
- ゴルボワ E.Yu. 2018 タラン島におけるウミスズメ *Synthliboramphus antiquus* の個体数変化// ロシア科学アカデミー極東支部北東研究センター紀要2018年第3号 72～86頁。
- ゼレンスカヤ L.A. 2013 タウイ湾とコニ半島(オホーツク海)の海鳥のコロニー// ロシア科学アカデミー極東支部北東研究センター紀要2013年第3号 87～100頁。
- ウテヒナ I.G.、ポターポフ E.R.、マックグラディ M.J.、リムリングル D. 2013 オホーツク海北部におけるオオワシ標識の成果(1993～2012年)// 『猛禽類と保全』2013年第27号 58～72頁。
- ウテヒナ I.G. 2015 オホーツク海北岸のオオワシ *Haliaeetus Pelagicus* (Pallas, 1811) ～分布、個体数、生態と渡り// D.M.オチャゴフ編『2005～2014年ロシア連邦国立自然保護区及び国立公園における希少動植物学術調査』第4号 183～187頁 モスクワ 全ロシア環境保全学術研究所。
- ウテヒナ I.G.、ポターポフ E.R.、マックグラディ M.J. 2018 ロシア・オホーツク海北岸…部における初のオオワシ繁殖例// 『猛禽類と保全』第36号 142～147頁。
- Kitaysky A.S., Golubova E.Yu. Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids // Journal of Animal Ecology. – 2000. –V.69. – Pp. 248–262.

- MacGrady M., Veta M., Potapov E., Utekhina I., Masterov V., Fuller M., Seegar W., Ladygin A., Lobcov E., Zykov V.. Migration and wintering of juvenile and immature Steller's Sea Eagle // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagle in East Asia. Published by Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. – Pp. 83–90.
- Potapov E., Utekhina I., McGragy M. Habitat preferences and factors affecting population density and breeding rate of Steller's Sea Eagle on Northern Okhotia // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta.M& McGragy.M.J. (eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. - Pp. 59–70.
- Potapov E., Utekhina I., McGragy M. Steller's Sea Eagle in Magadan District and in the North of Khabarovsk District // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta.M& McGragy.M.J. (eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000a. – 29–44.
- Utekhina I., Potapov E., McGragy M. Diet of the Steller's Sea Eagle in the Northern Sea of Okhotsk // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta, M. & McGragy, M.J. (eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. – Pp. 71-82.
- Utekhina I., Potapov E., McGragy M., Rimlinger D. Monitoring of the Steller's Sea Eagles (*Haliaeetus pelagicus*) in the northern part of the Sea of Okhotsk in the past 20 years // Proceedings of the Japan-Russia cooperation symposium on the conservation of the ecosystem in Okhotsk. – Japan, 2011. – Pp. 275–282.

## МОНИТОРИНГ БЕЛОПЛЕЧЕГО ОРЛАНА В ТАУЙСКОЙ ГУБЕ ОХОТСКОГО МОРЯ

Утехина И.Г.  
ФГБУ «Государственный заповедник «Магаданский»  
Потапов Е.Р.  
Брин Афинский Колледж, Пенсильвания, США  
МакГради М.Дж.  
Международные исследования птиц, Кремы, Австрия

Тауйская губа, на побережье которой расположен г. Магадан, – один из наиболее крупных заливов северной части Охотского моря. Он вдается в побережье на глубину до 60 км. Ширина между мысами на входе в залив составляет около 145 км, а между наиболее удаленными берегами – 220 км. В Тауйскую губу впадает несколько значительных лососевых рек, самая крупная из которых – р. Тауй. Ее протяженность составляет 378 км, площадь водосбора – 25,9 тыс. км<sup>2</sup>. В районе Тауйской губы расположены 2 участка государственного заповедника «Магаданский» – в долине р. Тауй и на побережье п-ова Кони, и памятник природы федерального значения «Остров Талан» (рис. 1).

Тауйская губа относится к наиболее продуктивным районам северной части Охотского моря – средняя биомасса планктона здесь в несколько раз выше, чем в сопредельных акваториях (Афанасьев и др., 1994). Скалистое северное побережье Охотского моря среди других его участков характеризуется самым большим числом колоний морских птиц с высокой численностью. На островах Тауйской губы – Талан, Умара, Три Брата и Шеликан, – располагаются 4 крупных «птичьих базара», в которых гнездятся 11 видов морских птиц. Общая численность морских птиц в Тауйской губе по данным последних учетов (2005-2009 гг.) составляет 825,7 тыс. особей (Зеленская, 2013).

Ученые из Магаданского института биологических проблем Севера, которые с конца 80-х годов 20-го века изучают морских птиц Тауйской губы, отмечают изменения в видовом составе колоний в сторону ихтиофагов – моевки *Rissa tridactyla*, берингова баклана *Phalacrocorax pelagicus*, очкового чистика *Cerphus carbo*, ипатки *Fratercula corniculata*, топорка *Lunda cirrhata* и выявили снижение численности и успеха размножения планктоноядных видов – большой конюги *Aethia cristatella*, белобрюшки *Cyclorhynchus psittacula*, старика *Synthliboramphus antiquus* (Зеленская, 2013; Андреев и др., 2010; Голубова, 2018).

Одну из причин этого они видят в изменении температуры поверхностных вод Тауйской губы, которое влияет на распределение макропланктона. Годы с холодным гидрологическим режимом благоприятствуют размножению планктоноядных видов, а

годы с теплым гидрологическим режимом способствуют размножению рыбадных видов (Kitaysky, Golubova, 2000).

Белоплечий орлан – гнездовой эндемик Дальнего Востока России, редкий вид, включенный в Красные книги различного уровня и двустороннее соглашение по охране мигрирующих птиц между Россией и Японией. Мы изучаем белоплечего орлана на северном побережье Охотского море в течение 27 лет. Мы выяснили распределение и плотность размещения территориальных пар на северном побережье Охотского моря. Изучали питание, миграции, оценивали численность, продуктивность и успех размножения северо-охотской популяции (Potapov and all., 2000, 2000a; Utekhina and all., 2000; MacGrady and all., 2000; Utekhina and all., 2011; Утехина, 2015). Как показали наши исследования, орланы, размножающиеся в Магаданском регионе, проводят зиму в основном на Хоккайдо. Многочисленные встречи наших птенцов с цветными кольцами на о. Хоккайдо подтверждают постоянство их мест зимовки (Утехина и др., 2013). В заповеднике «Магаданский» в долине р. Тауй как минимум с 2011 года размножается белоплечий орлан, помеченный нашими японскими коллегами на о. Хоккайдо в 1995 году. На момент последней встречи летом 2015 года возраст этой птицы составлял более 25 лет. Среди всех когда-либо помеченных белоплечих орланов это самая взрослая особь, повторно встреченная в природе (Утехина и др., 2018).

Проведенные исследования выявили разницу в питании и успехе размножения белоплечих орланов на морском побережье и на реках. Это позволило разделить все наблюдаемые пары на две экологические группы: «речную» – орланы, гнездящиеся вдоль нерестовых рек, и «морскую» – орланы, гнездящиеся на побережье.

С 2006 г. мы ведем регулярный мониторинг размножения белоплечих орланов на модельных территориях – «речная гнездовая группа» в долине р. Тауй на участке заповедника «Магаданский»; «морская гнездовая группа» – на побережье Тауйской губы Охотского моря, включая участок заповедника «Магаданский». Ежегодно мы проверяем от 62 до 144 гнездовых участков/территорий белоплечих орланов: от 24 до 34 в речной гнездовой группе и от 38 до 110 в «морской гнездовой группе».

Тауйская губа – очень благоприятное место для гнездования белоплечих орланов – здесь есть реки, в которые заходят на нерест тихоокеанские лососи, много колоний морских птиц, заливы с громадными осушками во время отлива. Плотность гнездования белоплечих орланов в нижнем течении р. Тауй составляет 3 пары на 10 км реки. Это самая высокая плотность размещения гнездовых участков на реках северо-охотского побережья.

Успех размножения Белоплечих орланов на морском побережье выше, чем на

реках (рис. 2). Это связано, в первую очередь, с доступностью и разнообразием их добычи. На морском побережье орланы выкармливают птенцов морскими птицами и рыбой, на реках – практически только рыбой (рис. 3).

На продуктивность гнездовых группировок и успех размножения белоплечих орланов в разной степени влияют разные факторы. Один из них – колебания уровня воды в реках, вдоль которых расположены гнезда белоплечих орланов.

Эндемик Дальнего Востока, белоплечий орлан – вид, специализирующийся на питании тихоокеанскими лососями. Однако нерестовая миграция горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* в реки Тауйской губы проходит с конца июня по начало августа. Массовый ход кеты *Oncorhynchus keta* идет со 2-й декады июля по сентябрь (рис. 4). Поэтому в начальный период гнездования белоплечим орланам приходится добывать местные виды рыб. В мае-июне по р. Тауй идет скат молоди горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* и кеты *Oncorhynchus keta*. Молодь лососей активно питаются кунджа *Salvelinus leucomaenis*, мальма *Salvelinus malma* и хариус *Thymallus arcticus*, которые, в свою очередь, становятся добычей белоплечевого орлана (рис. 5).

Первые две недели жизни наиболее важны для выживания птенцов. В случае, если в первые дни после вылупления мать с птенцом не получают достаточно пищи, родители могут выкинуть птенца из гнезда. В выводках из нескольких птенцов из-за недостатка корма второй или третий птенец погибает (рис. 6). В долине р. Тауй птенцы у белоплечих орланов появляются обычно в первой – начале второй декадах июня. Этот период совпадает с весенним паводком на реках северного побережья Охотского моря. Большой уровень мутной воды в реке Тауй в 1-2 декадах июня затрудняет для орланов лов рыбы, что ведет к гибели части выводков.

На уровень воды в реках северного побережья Охотского моря в июне влияют запасы снега, влажность, количество дней с дождливой погодой, температура воздуха. В целом, в последнем десятилетии 20-го века июнь был более сухим, чем в последующие годы (рис. 7). Наибольшее количество успешных гнезд Белоплечевого орлана отмечено в годы, когда средний уровень воды в Тауе в 1 и 2 декады июня не превышал 4 м: 1993, 2002, 2010 и 2012 годы. Наименьшее количество успешных гнезд было в годы с уровнем воды выше 5 м: 2009, 2011 и 2007 годы (рис.8).

#### Литература:

Андреев А.В., Голубова Е.Ю. Планктоноядные чистиковые птицы о. Талан: состояние гнездовой и перестройка прибрежной экосистемы Тауйской губы в XXI в. //

Международная научная конференция «Биологические проблемы Севера». Магадан, Российская Федерация. 18–22 сентября 2018 г.: сборник аннотаций. – Магадан, 2018. – С. 4.

Андреев А.В., Голубова Е.Ю., Зубакин В.А., Харитонов С.П. Численность морских птиц на колониях о. Талан: двадцатилетний тренд // Вестник СВНЦ ДВО РАН. № 2. 2010. С. 30-42.

Афанасьев Н.Н., Михайлов В.И., Червизов Б.П., Карасев А.Н. Условия формирования, структура и распределение кормовой базы молоди лососевых рыбв Тауйской губе Охотского моря // Сб. науч. Тр. ГОСНИОРХ. – 1994. – Вып. 308. – С.25-41.

Голубова Е.Ю. Динамика численности старика *Synthliboramphus antiquus* (Gmelin, 1789) на о. Талан (Охотское море, Тауйская губа) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2018. – № 3. – С.72-86.

Зеленская Л.А. Колонии морских птиц Тауйской губы и п-ова Кони (Охотское море) // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2013. – № 3. – С. 87–100.

Утехина И.Г., Потапов Е.Р., МакГради М.Дж., Римлингер Д. Результаты мечения птенцов белоплечего орлана на Северном Охотоморье (1993-2012 гг.) // Пернатые хищники и их охрана, 2013, № 27. – С.58-72.

Утехина И.Г. Белоплечий орлан *Haliaeetus Pelagicus* (Pallas, 1811) на северном побережье Охотского моря: распространение, численность, экология, миграции // Научные исследования редких видов растений и животных в заповедниках и национальных парках Российской Федерации за 2005-2014 гг.// Отв. ред. Д.М.Очагов. Вып. 4. – М.: ВНИИ Экология, 2015. – С. 183–187.

Утехина И.Г., Потапов Е.Р., МакГради М.Дж. Первый случай размножения белоплечего орлана в natalной области на северном побережье Охотского моря, Россия // Пернатые хищники и их охрана. – 2018. – № 36. – С. 142–147.

Kitaysky A.S., Golubova E.Yu. Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids // Journal of Animal Ecology. – 2000. –V.69. – Pp. 248–262.

MacGrady M., Veta M., Potapov E., Utekhina I., Masterov V., Fuller M., Seegar W., Ladygin A., Lobcov E., Zikov V.. Migration and wintering of juvenile and immature Steller's Sea Eagle // First Symposium on Steller's and Whate-tailed Sea Eagle in East Asia. Pablushed by Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. – Pp. 83–90.

Potapov E., Utekhina I., McGrady M. Habitat preferences and factors affecting population density and breeding rate of Steller's Sea Eagle on Northern Okhotia // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta.M& McGrady.M.J.

(eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. - Pp. 59–70.

Potapov E., Utekhina I., McGrady M. Steller's Sea Eagle in Magadan District and in the North of Khabarovsk District // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta.M& McGrady.M.J. (eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000a. – 29–44.

Utekhina I., Potapov E., McGrady M. Diet of the Steller's Sea Eagle in the Northern Sea of Okhotsk // First Symposium on Steller's and White-tailed Sea Eagles in East Asia. Ueta, M. & McGrady, M.J. (eds.). – Wild Bird Society of Japan, Tokyo, 2000. – Pp. 71-82.

Utekhina I., Potapov E., McGrady M., Rimlinger D. Monitoring of the Steller's Sea Eagles (*Haliaeetus pelagicus*) in the northern part of the Sea of Okhotsk in the past 20 years // Proceedings of the Japan-Russia cooperation symposium on the conservation of the ecosystem in Okhotsk. – Japan, 2011. –



## 日本における渡り・越冬期の海ワシ類の生息数と餌資源について

白木彩子（東京農業大学生物産業学部）・中川 元（知床自然大学院大学設立財団）・  
大泰司紀之（北海道大学総合博物館）

日本で越冬する海ワシ類 *Haliaeetus* 属には、オジロワシ *H. albicilla* とオオワシ *H. pelagicus* がいる。オジロワシでは北海道や青森県で繁殖する個体もいるが、この発表では、主に渡り性の海ワシ類を対象としている。一般に、渡り鳥の保護のためには、繁殖地や越冬地のほか、渡り経路や中継地（渡り途中でエネルギー補給する滞留地）を含めた、包括的な生息環境の保全が求められる。周年を通じた渡り鳥の生息地は多国間に跨って存在することも多く、その保全には関係国間の協力が不可欠である。

海ワシ類は、営巣地や峙として大木のある、人間による攪乱の少ない森林環境を必要とする。一方、河川や湖、海岸などの陸海域の水域環境を餌場とし、魚類や水禽類を主食とすることから、食物連鎖上では、水域の生態系の最高次捕食者と位置付けられる。

極東ロシアで繁殖する海ワシ類の多くは、餌場となる水域が凍結する越冬期には南下し、北海道を主とする北日本は、オオワシ個体群のほぼ半数が渡来する重要な越冬地域とされている (Nakagawa et al. 20)。オオワシの渡り経路については標識や送信機装着による追跡調査が比較的多く実施されており、日本に渡来する複数の経路がわかっている (McGrady et al. 2003, Masterov 2013)。オジロワシでは1990年代に2個体の遠隔追跡調査が行われ、越冬地である北海道南部地域と超夏地であるカムチャッカ半島北部間で時計回りの渡り経路が示された (Ueta et al. 1998)。しかし、極東におけるオジロワシの渡り経路についてはこの報告しかないので、追加調査が必要である。

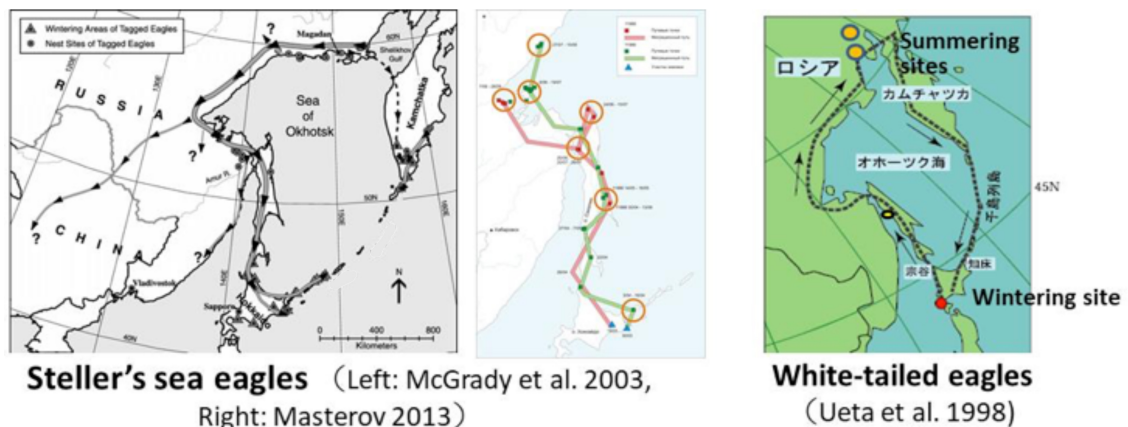


図1 先行研究における海ワシ類の渡り経路

今回の報告では、主に2つの項目について報告する。ひとつは北海道で越冬する海ワシ類の動向、もうひとつは近年開始した、オジロワシの渡り移動経路調査の予備的な結果である。

まず、北海道で越冬する海ワシ類の動向について述べる。図2は1985年から毎年2月の第4週目に実施されている、オジロワシ・オオワシ合同調査グループによる北日本一円における海ワシ類の一斉カウント調査の結果である。この図から、オジロワシと比較してオオワシでは年次変動が大きく、多い年には1500~2000個体が記録されているが、最近10年ほどは1000-1500個体前後で推移しており、過去に比べるとやや減少傾向にある。オジロワシでは2000年代前半まで緩やかに増加し、その後はほぼ安定しているようにみえる。ただし、オジロワシは北海道で繁殖し、留鳥として一年中北海道にいる個体がいる。そして、近年の留鳥の繁殖個体数は1990年代初めから5倍近く増加している（白木 2013）ことを考えると、渡り鳥のオジロワシの個体数はほとんど変化していないか、減少している可能性がある。

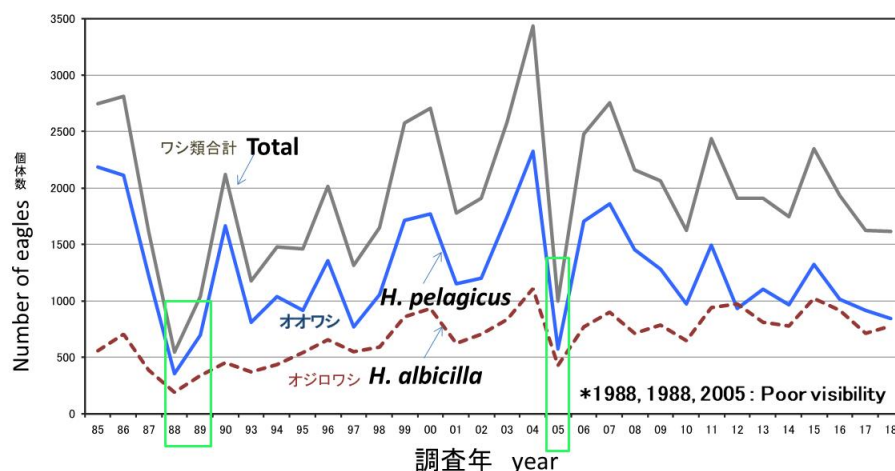


図2 北日本一円における、2月の海ワシ類の一斉カウント調査の結果（オジロワシ・オオワシ合同調査グループによる）

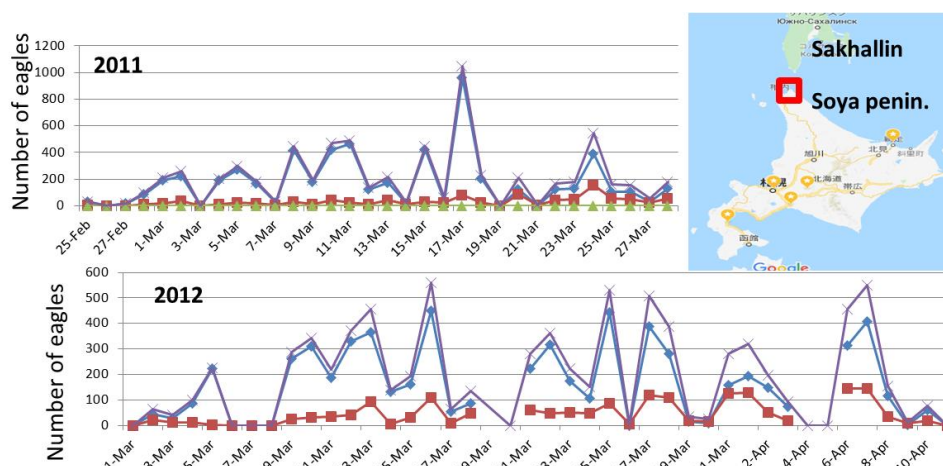


図3 北海道宗谷岬における海ワシ類の春の渡り個体数（楠木憲一 未発表データから作成）

一方、北海道最北端の宗谷岬では、秋と春の渡り時期にサハリンと北海道とを往来する海

ワシ類を観察することができる。2011年と2012年の主として3月と4月に、宗谷岬で海ワシ類の春の渡り個体数調査が実施された(図3; 楠木憲一 未発表)。これらの調査は渡り期間を通して行われたものではないため、各調査シーズン中の渡り総数はさらに多いことが予想されるが、2月の一斉調査で確認された図2の同年の個体数と比べ、かなり多くの個体が渡っていることがわかる。たとえば、2012年に渡りが観察されたオオワシは6,138個体で一斉調査の約5倍、オジロワシでは1,708個体で約2倍である。渡り個体数調査では、国外も含む一斉調査で設定されている調査地以外の場所や、陸地からはみえない海氷上で越冬していた個体が含まれている可能性がある。一方、一斉調査における海ワシ類の個体数は、北日本一円における実際の越冬数よりも過小評価の可能性が高いと考えられる。

また、極東の海ワシ類の主要な越冬地域であるカムチャッカ半島と北日本などのオオワシの越冬状況について、1985-1986年に第一回日露共同調査が行われている。それによれば、北海道本島や国後、択捉などの島々で個体群のおよそ半分にあたる約3,000個体のオオワシが、カムチャッカ半島で最大の越冬地であるクリルスコエ湖やその支流河川で約3,000-4,000個体が越冬すると推定されている(Nakagawa et al. 1985)。その後、日露双方の越冬地における広域的な越冬状況調査は実施されていないが、人間活動や気候変動によりこの20年間で海ワシ類の分布も変化している可能性があることから、さらに広域を対象とした第二回日露共同調査の実施が望まれる。

次に、オジロワシの渡り経路に関する調査について紹介する。移動経路や広域的な生息環境、餌資源を明らかにする目的で、2017年と2018年に、ハバロフスク州のアムール川の中流域と下流域にあるチュクチャギル湖において、オジロワシの巣内雛にGPS送信機を装着して遠隔追跡調査を実施した。その結果、現時点で3個体について越冬地までの渡り経路の情報が得られた(白木 未発表)。これらのオジロワシは大陸の沿岸部を1000-1500 kmほど南下して沿海州の沿岸部で越冬し、日本には渡来していない。一方、2000年代にアムール川下流域で標識されたオオワシの多くは日本で越冬したことが、Masterov (2013)で示されている。このような渡り経路や越冬場所の違いは種によるものである可能性もあるが、餌場などの経年的な環境変化が影響している可能性もある。また、営巣地から南下する間に、いずれの個体もアムール川の本支流など河川環境での滞留が確認され、10日以上滞在した場所を中継地とすると、往路の渡りでは2~3か所の中継地があった。日本では秋から初冬にかけて、営巣地から分散したオジロワシの巣立ち後幼鳥や(Shiraki 2002)、渡り個体を含む多くの海ワシ類が、産卵のため遡上するシロザケ *Oncorhynchus keta* やその死骸を餌として川に滞留する(たとえばShiraki 2001)。沿海州やハバロフスク州の河川に遡上するサケ科魚類の分布については今後の調査課題であるが、今回追跡調査したオジロワシ幼鳥もサケ科魚類を狙って河川に滞在した可能性がある。

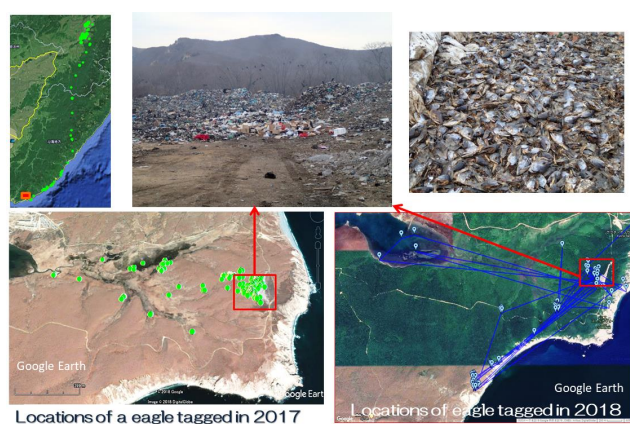


図4 2017年と2018年にアムール川中下流域で送信機を装着したオジロワシ幼鳥2個体の越冬地(白木 未発表)

図4は、追跡調査した2個体の越冬地を示す。2個体の日中の滞在地点の多くは写真のようなゴミ捨て場周辺で、2018年12月に現地確認をしたところ、水産廃棄物（魚類）を含むあらゆるゴミが混在した形で投棄されていた。オジロワシは、このような水産廃棄物を主な餌としてここで越冬したと考えられる。北海道では、越冬個体数の最も多い1月中旬から3月初めにかけて、多くの海ワシ類が漁業活動から投棄される雑魚類や観光船の撒く魚など、人間活動に由来する餌に依存しており、保全上の課題の一つであるが（白木 2010）、ロシアでも人為的な餌資源を利用して越冬する海ワシ類が増加している可能性がある。海ワシ類は最高次捕食者として餌生物の個体数をコントロールする役割も担うが、餌生物種との関係性を無視した人為的な餌資源の供給による個体数の増加や分布の変化は、生物群集のバランスを悪化させるかもしれない。今後はロシアの生息域も含めて、人為的な餌資源の利用状況や自然性の餌による潜在的な越冬環境の分布について、現状を明らかにする必要がある。

北海道で越冬する海ワシ類の一部は、河川に残るシロザケの死骸や、後期群として遡上するシロザケを餌として早春まで河川で越冬する。気候変動によるシロザケの分布の変化（たとえば帰山 2013）だけでなく、河川に残ったサケの死骸が温暖化の影響でより速く分解されて消失する（Harvey et al. 2012）ことは、越冬期の貴重な自然性餌資源の減少をもたらす。サケ以外の自然性の餌資源として、湧水により結氷しない河川や湖、海氷のない沿岸あるいは開水面のある海氷域に生息する魚類や水禽類、海岸部に打ちあがった海獣類の死体やエゾシカ *Cervus nippon yesoensis* の死体などが考えられる。オホーツク海における海氷面積の縮小は、オオワシの重要な餌であるゴマフアザラシ *Phoca largha* の繁殖場所の減少により、オオワシの繁殖や生存に影響する（Masterov 2013）ほか、海域における海ワシ類の採餌のためのとまり場の減少や消失、一次生産力の低下に基づく魚類や海鳥類など餌生物種の減少をもたらす可能性がある。このような気候変動や人為的な環境変化による海ワシ類への影響の解明や予測のためにも、餌生物群集を含む生態系の構造や動態研究が必要である。

#### 引用文献

- Harvey, C.J., Moriarty, P.E. and Salathé, E.P. 2012. Modeling climate change impacts on overwintering bald eagles. *Ecology and Evolution* 2(3): 501-514.
- 帰山雅秀. 2013. 日本系シロザケの生命線オホーツク海—日本とロシアの架け橋. 桜井泰憲ほか（編著）. オホーツクの生態系とその保全, pp 109-116. 北海道大学出版会, 札幌.
- Masterov, V. 2013. サハリン北部のオオワシ個体群の現状と開発知己における保全の展望. 桜井泰憲ほか（編著）. オホーツクの生態系とその保全, pp 299-308. 北海道大学出版会, 札幌.
- Nakagawa, H., E.G. Lobkov & Y. Fujimaki. 1987. Winter censuses on *Haliaeetus pelagicus* in the Kamuchatka Peninsula and Northern Japan in 1985. *Strix* 6: 14-19.
- Shiraki, S. 2001. Foraging habitats of Steller's Sea Eagles during the wintering season in Hokkaido, Japan. *Journal of Raptor Research* 35: 91-97.
- Shiraki, S. 2002. Post-fledging movements and foraging habitats of immature white-tailed sea eagles in the Nemuro Region, Hokkaido, Japan. *Journal of Raptor Research* 36: 220-224.
- 白木彩子. 2010. 越冬するオジロワシとオオワシの現状と課題. しれとこライブラリー—第10巻, 知床の自然保護. Pp.52-61. 北海道新聞社, 斜里町.
- Ueta M, F Sato, EG Lobkov, N Mita. 1998. Migration route of White-tailed Sea Eagles *Haliaeetus albicilla* in northeastern Asia. *Ibis* 140: 684-686.



## ЧИСЛЕННОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ ОРЛАНОВ, И ИХ КОРМОВАЯ БАЗА В ПЕРИОД ПЕРЕЛЕТА И ЗИМОВКИ В ЯПОНИИ

Сайко Сираки

Токийский университет сельского хозяйства, факультет биоресурсоведения

Хадзимэ Накагава

Фонд учреждения Университета и аспирантуры природоведения Сиретоко

Нориюки Отайси

Музей Университета Хоккайдо

Среди видов орланов рода *Haliaeetus*, которые зимуют в Японии, есть орлан-белохвост *H. albicilla* и белоплечий орлан *H. pelagicus*. Существуют оседлые особи орлана-белохвоста, которые размножаются на Хоккайдо и префектуре Аомори, но в этой публикации мы будем рассматривать главным образом мигрирующих особей. Как правило, для защиты перелётных птиц требуется комплексное сохранение среды обитания, включая места размножения и места зимовки, а также путей миграции и промежуточных пунктов (места остановок для пополнения энергией во время перелёта). Перелётные птицы в течение года часто меняют места обитания, перелетая через разные страны. Поэтому сотрудничество между странами, в которых они останавливаются, играет важную роль в сохранении видов.

Орланам необходима лесная среда с большими деревьями для насеста и местами гнездования вдали от антропогенного воздействия. С другой стороны, пищу они добывают в водной среде на побережье, в реках и озёрах. В их рацион входят, в основном, рыба и водоплавающая птица, поэтому в пищевой цепи орланов позиционируют как высших хищников водных экосистем.

Большинство птиц этого рода, которые размножаются на Дальнем Востоке России, улетает на зимовку на юг, когда замерзает кормовой участок акватории. Север Японии, в основном Хоккайдо, считается важным районом зимовки, куда прилетает почти половина популяции белоплечьего орлана (Накагава и др. 1987). Что касается его сезонной миграции, то известно несколько маршрутов их перелёта в Японию, благодаря богатому опыту отслеживания при помощи мечения и датчиков. (McGrady et al. 2003, Masterov 2013). В 1990-х годах было проведено дистанционное отслеживание двух особей орлана-белохвоста, которое показало маршрут их перелёта по часовой стрелке между южным районом Хоккайдо, где они зимуют, и северным районом полуострова Камчатка, который является районом их пребывания в разгаре лета (Уэта и др. 1998). Однако, существует только один этот отчёт о маршруте миграции орлана-белохвоста по Дальнему Востоку, поэтому требуются дополнительные исследования.

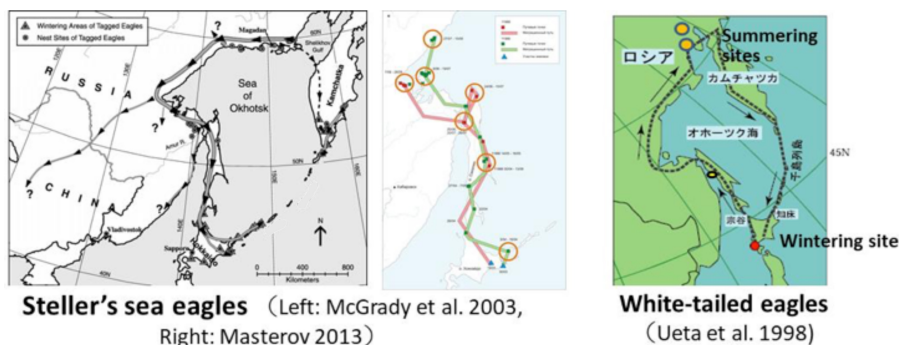
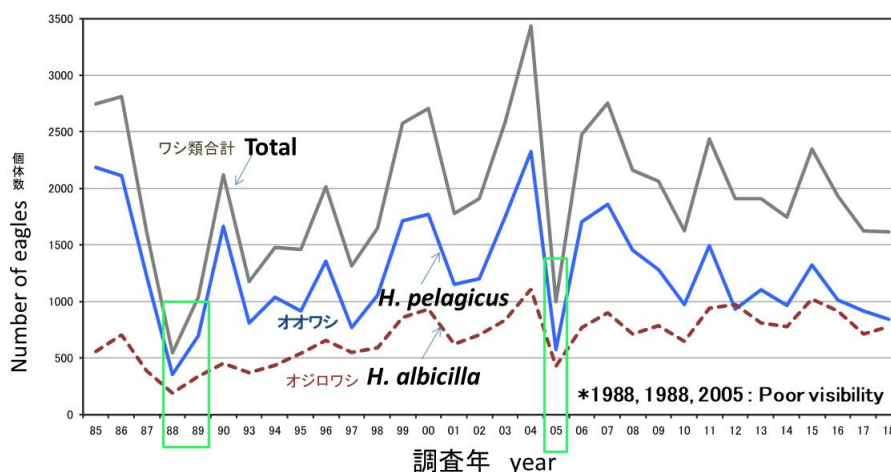


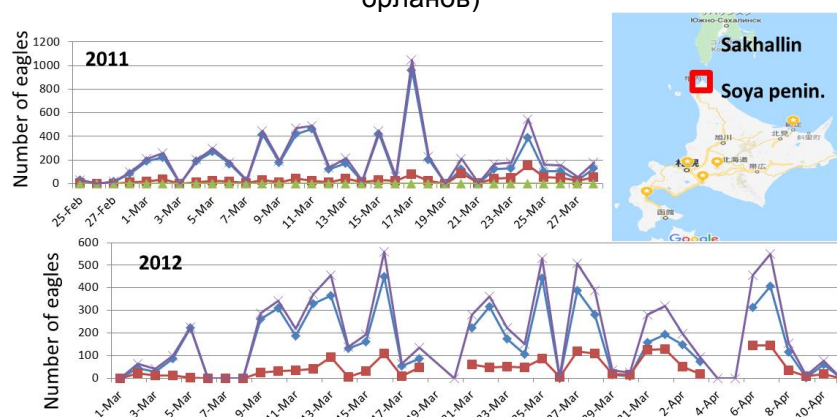
Рис. 1. Маршрут миграции орланов по предыдущим исследованиям

В этой статье мы коснёмся двух основных тем. В одной теме мы рассмотрим поведение видов орланов, зимующих на Хоккайдо, в другой – расскажем о предварительных результатах исследований путей миграции орлана-белохвоста, которые мы ведём в последние годы.

Сначала мы расскажем о поведении орланов, зимующих на Хоккайдо. На рис. 2 показаны результаты синхронных подсчётов птиц по всей северной Японии, проводимых объединённой группой по исследованию орлана-белохвоста и белоплечьего орлана каждый год в четвёртую неделю февраля начиная с 1985 года. По этому графику видно, что по сравнению с орланом-белохвостом, годовой разброс у белоплечьего орлана велик. В некоторые годы было зарегистрировано 1500-2000 особей, но за последние 10 лет их число колеблется в районе 1000-1500 особей и по сравнению с прошлыми годами есть тенденция к снижению. В первой половине 2000-х годов популяция орлана-белохвоста постепенно увеличивалась, а затем стабилизировалась. Между прочим, в популяции орлана-белохвоста существуют оседлые особи, которые остаются на Хоккайдо круглый год и размножаются там же. Учитывая, что в последние годы число таких оседлых птиц возросло почти в пять раз по сравнению с началом 1990-х годов (Сираки 2013), вполне возможно, что популяция мигрирующих птиц практически не изменилась или немного уменьшается.



**Рис. 2.** Результаты синхронных подсчётов орланов в феврале по всей северной Японии (объединённая группа по исследованию орланов-белохвостов и белоплечих орланов)

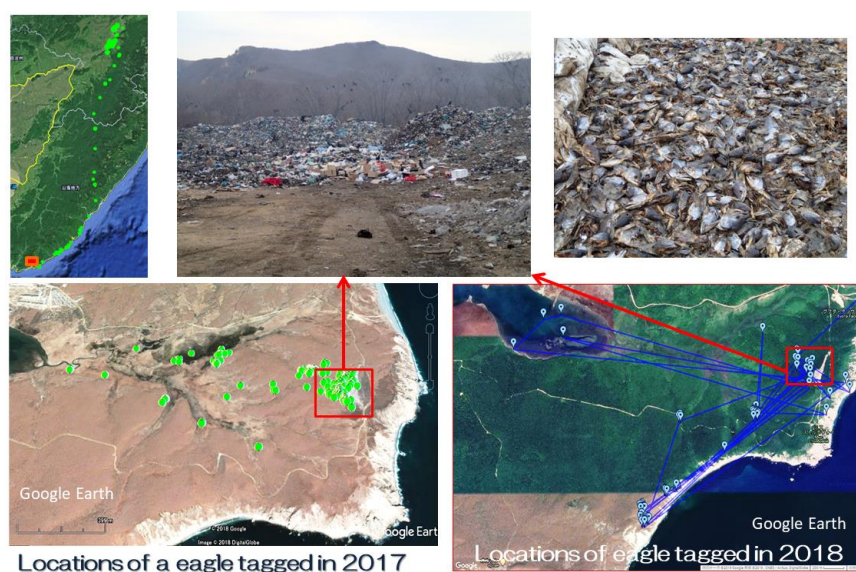


**Рис. 3.** Численность мигрирующих птиц, отмеченных весной на мысе Соя острова Хоккайдо (график построен по неопубликованным данным Кэничи Кусуноки)

С другой стороны, на самой северной оконечности Хоккайдо мыса Соя, мы можем наблюдать мигрирующих между Сахалином и Хоккайдо птиц в осенние и весенние периоды. В 2011 и 2012 годах в основном в марте и апреле на мысе Соя был проведен подсчёт весенних перелётных особей орланов (график на рис. 3. построен по не опубликованным данным Кенъичи Кусуноки). Поскольку эти исследования проводились непостоянно в период миграции, предполагается, что общее число мигрирующих птиц в течение всего сезона будет выше. Сравнив число особей того же года с данными на рисунке 2, полученными при синхронных подсчётах в феврале, становится понятно, что мигрирует довольно много птиц. Например, в 2012 году была замечена сезонная миграция 6 138 особей белоплечьего орлана (в пять раз больше чем при синхронных подсчетах) и 1 708 птиц орлана-белохвоста (почти в два раза больше чем при одновременных подсчётах). Эти числа также могут включать и тех птиц, которые находятся в зимнее время внутри страны и за рубежом в тех местах, где не проводятся ежегодные синхронные подсчеты, или на не видимых с материка морских льдах. В то же время, высока вероятность того, что при синхронных подсчётах число орланов могло быть недооценено, так как их отклонение от реальных чисел птиц, зимующих во всей северной Японии, велико.

Стоит отметить, что Первое совместное Японо-Российское исследование о состоянии зимовок белоплечьего орлана в северной Японии и на полуострове Камчатка, которые являются основными местами зимовок орланов на Дальнем Востоке, было проведено в 1985-1986 гг. Согласно отчёту по этому исследованию, предполагается, что около 3000 - 4000 особей белоплечьего орлана, которые составляют почти половину всей популяции на основном острове Хоккайдо, о. Кунашири, о. Эторофу и других островах, скапливаются в крупнейшем на Камчатском полуострове месте зимовки, именно на Курильском озере и его притоках (Накагава и др., 1985). Имея в виду, что масштабных исследований о состоянии районов зимовки не проводилось с тех пор ни в Японии, ни в России, распределение орланов могло претерпеть существенные изменения в результате антропогенной деятельности за последние 20 лет. Поэтому, на наш взгляд, необходимо проведение Второго совместного Японо-Российского исследования ареалов их обитания.

Далее мы ознакомим вас с данными о маршрутах миграции орлана-белохвоста. С целью выяснения маршрутов миграции, ареалов обитания и кормовых ресурсов, в 2017 и 2018 годах на озере Чукчагил в среднем и нижнем бассейне реки Амур Хабаровского края в гнёздах орлана-белохвоста на птенцов были установлены GPS датчики и было проведено дистанционное отслеживание. В результате, к настоящему времени мы получили информацию о пути миграции к месту зимовки трёх птиц (Сираки, по не опубликованным данным). Эти птицы зимуют в прибрежной зоне Приморского края, перелетев примерно на 1000-1500 км к югу вдоль береговой линии материка, но не совершая перелёта в Японию. С другой стороны, Мастеров (2013) указывает на то, что многие белоплечие орланы, помеченные в 2000-х годах в бассейне нижнего течения Амура, зимовали в Японии. Такие различия в маршрутах миграции и местах зимовки могут быть связаны с миграционными предпочтениями того и другого вида, но могут также зависеть и от изменений окружающей среды, произошедших за многие годы в местах добычи пищи. Кроме того, некоторые птицы на пути к югу от мест гнездования временно останавливались на реках, например, в главном течении реки Амур и её притоках. Если считать место, в котором птицы останавливаются 10 и более дней, за место временной остановки, то были найдены 2-3 таких места на пути к зимовке. В Японии с осени до начала зимы многие орланы, включая «кочевых» особей и подросших птенцов орлана-белохвоста, утелевших из гнезд (Сираки 2002), останавливаются на реках и питаются заходящей на нерест кетой *Oncorhynchus keta* и их тушами (Сираки 2001). Распределение лососевых, идущих на нерест в реках Приморского и Хабаровского краев, подлежит дальнейшему изучению, но не исключено, что отслеживаемые в этот раз молодые птицы также останавливаются на этих реках, чтобы поест эту рыбу.



**Рис. 4.** Место зимовки двух молодых орланов-белохвостов с передатчиками в низовьях Амура в 2017 и 2018 гг. (Сираки, по не опубликованным данным)

На фото рис. 4. представлены места зимовки двух отслеживаемых птиц. Как видно на фотографиях, обе особи проводили дневное время в основном на свалке и в ее окрестностях. В декабре 2018 года во время ознакомления с местностью выяснилось, что там выброшен всякого рода мусор, включая отходы рыбной промышленности. Обе птицы, по-видимому, перезимовали там, полагаясь главным образом на эти отходы. На Хоккайдо во время максимального скопления зимующих птиц, с середины января до начала марта, они зависят от корма, получаемого в результате человеческой деятельности, например, питаются мелким приловом, выбрасываемым рыбным промыслом, или кормятся рыбой, разбрасываемой членами экипажа туристических катеров и тем подобным. Это одна из проблем в сохранении популяций (Сираки 2010). С учётом всего этого весьма вероятно, что большое количество птиц зимой получает пищу от человека и в России. Поскольку орланы, как высшие хищники на трофической пирамиде, служат регулятором численности животных и птиц, которыми они питаются, увеличение численности популяций и изменение распределения хищных птиц в результате предоставления человеком кормовых ресурсов могут нарушать их естественное численное равновесие с добычей и привести к деградации целого фаунистического комплекса. В дальнейшем необходимо прояснить текущее состояние условий их обитания как в Японии, так и в России, выяснить уровень их зависимости от кормовых ресурсов, предоставляемых человеком, и расположение благоприятных для их зимовки мест, свободных от антропогенных воздействий.

Часть зимующих на Хоккайдо популяций орланов до ранней весны не покидает приречные районы и питается тушками кеты или ее позднерестующими стаями. Наряду с изменениями в распределении кеты из-за изменения климата (это отметил М. Каэрияма в 2013 г.), тушки лосося, оставшаяся в реке, могут быстрее разлагаться и исчезать под влиянием потепления (Harvey et al. 2012). Это приводит к потере части зимней кормовой базы, жизненно важной для перезимовки. Хищные птицы в естественных условиях добывают, предположительно, помимо лосося, рыбу и птицу в реках и озерах, незамерзающих от постоянного обновления и напора воды из ключей. Они также получают такую же пищу и в прибрежных районах, где нет морского льда,



или в проталинах льда и питаются выброшенными на берег морскими животными или трупами японского пятнистого оленя *Cervus nippon yesoensis* и тому подобным. Снижение ледовитости в Охотском море не может не влиять на воспроизводство и выживание белоплечего орлана, так как суживается площадь для размножения ларги *Phoca largha*, которая является важной пищей для него (Мастеров 2013), а также может произойти сокращение или исчезновение мест остановки орланов в морской зоне для добычи пищи, а также оскудение их рациона, таких как рыба и морские птицы, из-за снижения первичной продуктивности. Для выяснения и прогнозирования воздействия на орланов изменения климата и окружающей среды из-за антропогенной деятельности необходимо изучить структуру и состояние экосистемы, включая их кормовую базу.

#### Литература

- Harvey, C.J., Moriarty, P.E. and Salathé, E.P. 2012. Modeling climate change impacts on overwintering bald eagles. *Ecology and Evolution* 2(3): 501-514.
- Каэрияма М. 2013. Колыбель кеты японского происхождения Охотское море – наведение мостов между Японией и Россией.// Под редакцией Я. Сакураи. «Экосистема Охотского моря и сохранение её целостности», стр. 109-116, Саппоро, Изд. Университета Хоккайдо.
- Мастеров В. Б. 2013. Действительное состояние популяции белоплечего орлана на севере Сахалина и перспективы её сохранения в районе нефтяных разработок.// Под ред. Я. Сакурай. «Экосистема Охотского моря и сохранение ее целостности», стр.299-308, Саппоро, Изд. Университета Хоккайдо
- Nakagawa, H., E.G. Lobkov & Y. Fujimaki. 1987. Winter censuses on *Haliaeetus pelagicus* in the Kamuchatka Peninsula and Northern Japan in 1985. *Strix* 6: 14-19.
- Shiraki, S. 2001. Foraging habitats of Steller's Sea Eagles during the wintering season in Hokkaido, Japan. *Journal of Raptor Research* 35: 91–97.
- Shiraki, S. 2002. Post-fledging movements and foraging habitats of immature white-tailed sea eagles in the Nemuro Region, Hokkaido, Japan. *Journal of Raptor Research* 36: 220–224.
- Сираки С. 2010. Действительное состояние и проблемы зимовки орлана-белохвоста и белоплечего орлана. Библиотека Сирэтоко – 10-й том, охрана природы Сирэтоко. Стр.52-61. Изд. Хоккайдо Симбунся, Сяри-чё.
- Ueta M, F Sato, EG Lobkov, N Mita. 1998. Migration route of White-tailed Sea Eagles *Haliaeetus albicilla* in northeastern Asia. *Ibis* 140: 684–686.