

Stanowisko Światowych Towarzystw Naukowych Badających Ekosystemy Wodne w Sprawie Potrzeby Podjęcia Pilnych Działań Przeciwko Antropogenicznym Zmianom Klimatu

American Fisheries Society (AFS) • American Institute of Fishery Research Biologists American Society of Ichthyologists and Herpetologists • American Water Resources Association Asian Fisheries Society • Asociación de Oceanólogos de México, A.C. Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Mexico Chapter
Asociația Română de Limnografie (Romanian Limnogeographical Association) Association Française de Limnologie / French Limnological Association [EFFS member*] Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia [EFFS member*] • Australian Coral Reef Society The Australian Freshwater Sciences Society • Australian Marine Sciences Association
Australian Meteorological and Oceanographic Society • Australian Society for Fish Biology • BirdLife Australia Blue Ventures • The Brazilian Society of Ichthyology • British Phycological Society
Canadian Aquatic Resources Section (CARS) of AFS • Canadian Centre for Evidence-based Conservation Canadian Conference for Fisheries Research • Canadian Society of Zoologists
Coastal & Estuarine Research Federation • Coastal Research and Education Society of Long Island (CRESLI) The Coastal Society • Community of Arran Seabed Trust • Conchological Society of Great Britain and Ireland Croatian Association of Freshwater Ecologists (CAFÉ, HUSEK) [EFFS member]
Czech Limnological Society [EFFS member*] • Deep Ocean Stewardship Initiative (Climate and Fisheries WG) Desert Fishes Council • EFYR European Fresh and Young Scientists [EFFS member]
European Federation for Freshwater Sciences (EFFS) • Finnish Limnological Society [EFFS member] Fisheries Society of the British Isles • The Freshwater Biological Association [EFFS member*]
Freshwater Fisheries Society of BC • Freshwater Mollusk Conservation Society • German Ichthyological Society German Limnological Society (DGL) [EFFS member*] • Gilbert Ichthyological Society Hungarian Hydrological Society [EFFS member] • Hydroecological Society of Ukraine
The Hydrographic Society of America • The Hydrozoan Society • Iberian Association of Limnology [EFFS member] Ichthyological Society of Japan • Ichthyological Society of Ukraine • The Institute of Fisheries Management International Association for Danube Research • International Association for Great Lakes Research (IAGLR) International Association of Aquatic and Marine Science Libraries and Information Centers (IAMSLIC)
International Coral Reef Society • International Federation of Hydrographic Societies • International Peatland Society International Phycological Society • International Seaweed Association • International Society of Limnology International Water History Association • Irish Freshwater Sciences Association [EFFS member] The Japanese Society of Fisheries Science • Lake Victoria Fisheries Organization
The Limnological Society of Turkey [EFFS member] • Living Oceans Society • Macrolatinos@ Network Malacological Society of London • Marine and Oceanographic Technology Network
The Marine Biological Association of India • Marine Biological Association of the United Kingdom Marine Stewardship Council • National Association of Marine Laboratories (NAML) Netherlands Malacological Society (Nederlandse Malacologische Vereniging)
The New Zealand Freshwater Sciences Society (NZFSS) • North American Lake Management Society Oceania Chondrichthyan Society • Ocean Conservation Society • Philippine Association of Marine Science Phycological Society of America • Polish Hydrobiological Society [EFFS member*] • Polish Limnological Society • Romanian Ecological Society [EFFS member] • Scientific Committee on Antarctic Research
Serbian Water Pollution Control Society SWPCS [EFFS member] • SIL Austria [EFFS member*]
Slovak Ichthyological Society • Slovak Limnological Society (SLS) [EFFS member*] • Sociedad Chilena de Limnología Sociedad Científica Mexicana de Ecología, A.C. • Sociedad Iberica de Ictiología • Sociedad Ictiológica Mexicana Sociedad Mexicana de Planctología A.C.
Sociedad Mexicana para el Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos (SOMEFAN; Mexican Society for the Study of Harmful Algal Blooms • Sociedade Brasileira de Carcinologia • Société Française d'Ichtyologie Society for Conservation Biology Marine Policy Section • Society for Freshwater Science
The Society for Marine Mammalogy • Society for the Study of Amphibians and Reptiles
Society of Canadian Limnologists/Société canadienne de Limnologie (SC) • Society of Wetland Scientists Southern African Soc. Aquatic Scientists • Spanish Malacological Society (Sociedad Española de Malacología) Swiss Hydrological and Limnological Society [EFFS member*] • Vietnam Fisheries Society (VINAFIS) Western Indian Ocean Marine Science Association • Wild Oceans • World Aquaculture Society
The World Council of Fisheries Societies • World Sturgeon Conservation Society • Zoological Society of Pakistan

* Oznacza zarówno część EFFS, która podpisała dokument, jak i towarzystwo, które podpisało indywidualnie.

Woda jest najważniejszym zasobem naturalnym na Ziemi, ponieważ jest niezbędna do życia. Ekosystemy wodne, zarówno słodkowodne jak i morskie, zapewniają ludziom różnorodne korzyści. Dostarczają żywność i wodę niezbędną do spożycia i produkcji rolnej oraz przemysłowej. Są też ekosystemami produkującymi największą pulę tlenu niezbędnego do życia. Mają istotny wpływ na stabilność klimatu, regulują skład atmosfery, a poprzez różnorodne procesy mają zdolność redukcji zanieczyszczeń. Ekosystemy wodne charakteryzują się ogromną bioróżnorodnością i są ostoją wielu rzadkich gatunków. Nasze istnienie i dobrobyt zależą od dobrej kondycji i ich stabilnego funkcjonowania. Od początku swego istnienia człowiek w znaczący sposób związany jest z wodami. Już starożytne cywilizacje powstawały w bliskości rzek czy mórz. Dziś około 40% światowej populacji żyje w promieniu 100 km od wybrzeża.¹

Światowe zasoby wodne są obecnie najbardziej zagrożone w historii ludzkości. Antropopresja przyspiesza zmiany klimatu i tym samym degradację ekosystemów wodnych, a także pogarsza jakość świadczonych przez nie usług. Zmiany dotyczące nasz glob manifestują się najszybciej i najsilniej właśnie w wodach powierzchniowych. Przykładowo spadek liczebności populacji organizmów słodkowodnych, który jest jedną z miar bioróżnorodności, w okresie od 1970 r. do 2014 r. spadł o 83%. Szacunki wskazują, że jeżeli kierunek i tempo degradacji środowiska nie ulegnie ograniczeniu, to do połowy XXI w. zniknie do 90% raf koralowych, które są ekosystemami kluczowymi w kontekście zachowania bioróżnorodności Ziemi.²

My, naukowcy, całe życie badający różne aspekty funkcjonowania wód słodkich i słonych szczególnie wyraźnie zauważamy wyjątkowe i niepokojące zmiany zachodzące w światowych ekosystemach wodnych spowodowane zmianami klimatu. Uważamy że, aby podkreślić wagę tego zagrożenia i potrzebę natychmiastowego działania, naszym obowiązkiem jest dzielenie się dowodami płynącymi z badań naukowych zarówno z politykami jak i całym społeczeństwem. Światowe Forum Ekonomiczne po raz pierwszy w ocenie globalnego ryzyka umieściło „kryzys wodny”, „niepowodzenia w walce ze zmianami klimatu” i „utrata różnorodności biologicznej” wśród przewidywanych pięciu największych zagrożeń kolejnej dekady.³ W ostatnich latach obserwuje się także gwałtowną intensyfikację masowych migracji i nasilenie napięcia geopolitycznego. W latach 2008-2016 ponad 20 milionów ludzi rocznie opuszczało swoje domostwa z powodu ekstremalnych zjawisk pogodowych, a jak raportuje ONZ tylko w roku 2017 w 45 krajach wybuchły konflikty związane z dostępem do wody.³ Można się spodziewać, że te negatywne konsekwencje nasilą się wraz z obecnymi trendami klimatycznymi. Według niektórych szacunków szkody gospodarcze związane z klimatem osiągną do końca stulecia w samych tylko Stanach Zjednoczonych 10% produktu krajowego produktu brutto.³ W Europie minimalny koszt niedostosowania się do zmian klimatycznych ocenia się na 100 mld euro rocznie w 2020 roku oraz 250 mld euro w roku 2050.⁴

Eksperti z zakresu nauk środowiskowych, społecznych i ekonomicznych wspólnie wskazują na poważny kryzys środowiskowy i humanitarny, którego konsekwencje osiągną poziom globalny jeżeli w trybie pilnym nie zostaną wdrożone globalne działania na rzecz ochrony klimatu.

Celem tego dokumentu jest podsumowanie najważniejszych odkryć naukowych opisujących wpływ zmian klimatycznych na ekosystemy wodne. Wskazujemy w nim najistotniejsze problemy dotyczące obecnie ekosystemy wodne i alarmujemy, że ich

dla ich rozwiązania niezbędne są natychmiastowe i skoordynowane działania światowych polityków i całej ludzkości. Przedstawione w dokumencie tezy dostarczają dowodów na zmiany, które są już obserwowane oraz wskazują, że decydenci na całym świecie jak i cała ludzkość, muszą podjąć wspólne, skoordynowane działania, jeżeli chcą złagodzić konsekwencje tych zmian.

Wyzwanie

- Tysiące opublikowanych badań przeprowadzonych przez naukowców z czołowych instytucji naukowych na całym świecie bezsprzecznie udowodniło negatywny i silny wpływ zmian klimatu na funkcjonowanie ekosystemów wodnych.⁵
- Wiele szanowanych na całym świecie źródeł, w tym Amerykańska Unia Geofizyczna (American Geophysical Union),⁶ akademie nauk z kilkudziesięciu krajów,⁷ Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu,⁸ oraz Czwarta amerykańska ocena klimatu (Fourth U.S. National Climate Assessment)⁹, potwierdza ustalenia, że zwiększenie stężenia gazów cieplarnianych w atmosferze pochodzących ze spalania paliw kopalnych (tj. emisja) i zmiany użytkowania gruntów, takie jak wylesianie, powodują obecne zmiany klimatyczne.
- Wiele z tych zmian jest i będzie nieodwracalnych oraz będzie w dalszym ciągu się pogłębiać, jeśli będziemy kontynuować obecne strategie rozwoju.¹⁰
- Obserwowane obecnie efekty obejmują zwiększoną częstotliwość, intensyfikację i dotkliwość susz, fal upałów, powodzi, pożarów i burz; topnienie lodowców; destabilizację pokrywy lodowej; przesunięcie prądów i podnoszenie się poziomu oceanów; zakwaszenie i odtlenienie wód morskich; wymieranie i przesunięcia zasięgów gatunków, w tym ekspansję gatunków obcych; ogniskowe występowanie chorób zwierząt i roślin wodnych; masowe wybielanie koralowców; oraz wiele innych. Zmiany te powodują rosnące straty na poziomie ekosystemowym, gospodarczym i społecznym, zarówno w skali lokalnej jak i globalnej.¹¹
- Efekty te są prekursorami jeszcze większych szkód w rybołówstwie, różnorodności biologicznej i dla ogółu ludzkości.¹²
- Zwlekanie z działaniami mającymi na celu powstrzymanie zmian klimatu lub spowoduje liczne gospodarcze, środowiskowe i społeczne konsekwencje.¹³
- Jeżeli ludzkość chce uniknąć tragicznych konsekwencji dla ekosystemów wodnych i ludzi, którzy są od nich całkowicie zależni - czas na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, ich sekwestrację oraz przygotowanie się do zmieniającego się już klimatu jest właśnie teraz.¹⁴ Racjonalne, szybkie działania przyniosą ogromne korzyści ekosystemom wodnym i zależnym od nich ludziom.
- Szybka i globalna reakcja oraz działania na dużą skalę będą możliwe tylko i wyłącznie, o ile istnieje zaangażowanie publiczne i rządowe.¹⁵

Dowody: Wpływ na zasoby morskie

- Obecnie obserwowane są dynamiczne zmiany w składzie gatunkowym, liczebności organizmów i produkcji biomasy.¹⁶
- Wiele cennych przyrodniczo i gospodarczo gatunków np.: homar,¹⁷ dorsz,¹⁸ makrela,¹⁹ ryby raf koralowych,^{20 21} i wiele innych przemieszczają się w stronę biegunów do chłodniejszych i głębszych wód bądź zanikają.²²

- Na skutek zmian klimatycznych dochodzi do znaczących przekształceń, degradacji lub utraty ekosystemów przybrzeżnych²³; dotyczy to m.in. podwodnych łąk traw morskich,²⁴ stref namorzynowych,²⁵ raf koralowych,²⁶ i lasów wodorostów.²⁷
- Skutki zmian składu gatunkowego biocenoz wpływają na całe ekosystemy.²⁸
- Emisja dwutlenku węgla powoduje globalne zakwaszenie oceanów, co ogranicza możliwość przetrwania organizmów, zwłaszcza skorupiaków, i przyspiesza erozję raf koralowych.²⁹
- Rośnie częstotliwość oraz intensywność morskich fal upałów. Przewiduje się, że trend ten będzie się dalej utrzymywać.³⁰
- W ciągu ostatnich pięciu dekad stwierdzono zmniejszenie globalnego stężenia rozpuszczonego tlenu w oceanie.³¹
- Zmiana klimatu oddziałuje wraz z innymi czynnikami stresogennymi, takimi jak nadmierny dopływ nutrientów,³² nadmierny odtów,³³ nowe interakcje międzygatunkowe³⁴, powodując magnifikację degradacji ekosystemów morskich.
- Zmiana klimatu powiązana jest z nowymi, ale i ponownie pojawiającymi się ogniskami chorób morskich gatunków dzikich zwierząt i roślin.³⁵
- Globalna produkcja zwierzęca ekosystemów morskich nadal spada, a zmiany w składzie gatunkowym będą postępować, chyba że emisja gazów cieplarnianych zostanie zmniejszona.³⁶
- Od 1950 r. prawie trzy czwarte populacji ptaków morskich (uznawanych za wskaźniki długoterminowych zmian środowiskowych) na świecie zniknęło, a połowa gatunków stoi w obliczu poważnych zagrożeń.³⁷ Tylko w samej Ameryce Północnej dwie trzecie (389/604) gatunków ptaków, w tym ptaków wodnych, jest w stopniu umiarkowanym lub bardzo dużym narażona na zmianę klimatu (zakładając scenariusz wzrostu temperatury o 3°C).³⁸

Dowody: wpływ na zasoby słodkowodne

- Ekosystemy słodkowodne należą do najbardziej zagrożonych na Ziemi.³⁹
- Ekosystemy słodkowodne zajmują mniej niż 1% powierzchni kuli ziemskiej, ale są miejscem występowania jednej trzeciej gatunków kręgowców i 10% gatunków wszystkich organizmów.⁴⁰
- Zdolność ekosystemów słodkowodnych do adaptacji jest stosunkowo niska, biorąc pod uwagę charakter ekosystemów słodkowodnych, ale i skalę wpływu zmian klimatu.⁴¹
- Zmiany klimatyczne wpływają na liczebność populacji, dynamikę relacji drapieżników i ich ofiar, ekspansję gatunków inwazyjnych, wzrost, pojaw gatunków i nowe interakcje międzygatunkowe, Prowadzi to do spadku liczebności i różnorodności organizmów słodkowodnych.⁴²
- Zwiększona częstotliwość, intensywność i długość okresów suszy wpływa negatywnie na zasoby i jakość wody słodkiej dostępnej zarówno dla ekosystemów wodnych, jak i dla ludzi.⁴³
- W przypadku rzek zmiany klimatu, oddziałujące na reżimy przepływu, w tym zarówno nasilone susze, jak i okresy niskiego przepływu, a także nasilone powodzie, wpływają na rodzime gatunki o wąskich zakresach wymagań w stosunku do przepływu i umożliwiają ekspansję obcych gatunków inwazyjnych, które wpływają na rekreacyjne i komercyjne połowy ryb i blokują drogi wodne.⁴⁴
- Zasięg geograficzny wielu roślin i zwierząt w międzyczasie przesunął się w kierunku biegunów i na wyższe wysokości, podczas gdy obce gatunki inwazyjne rozszerzają swe występowanie wraz z ociepleniem klimatu.⁴⁵ W przeciwieństwie do ekosystemów morskich, dostęp do innych siedlisk jest często blokowany, co prowadzi do lokalnego wymierania.⁴⁶

- Czasowe przesunięcia sezonowych zjawisk pogodowych, takich jak wiosenne odprawy lub pory monsunowe, wpływają na sukces tarła ryb, powodując spadek przeżywalności narybku i liczebności populacji.⁴⁷
- Większa częstość występowania pożarów lasów wpływa na ekosystemy wodne, zwiększając podatność zlewni na powodzie i obniżając jakość wody, zwłaszcza przy osadzaniu się popiołu po pożarze i w przypadku odkładania się osadów.⁴⁸
- Zdolność terenów podmokłych do pochłaniania dwutlenku węgla i łagodzenia zmian klimatu jest ograniczana przez skutki związane ze zmianami klimatycznymi i działanie innych elementów zmian globalnych, takich jak zwiększona zabudowa czy pożary.⁴⁹
- Wyższe temperatury i wyższy spływ ze zlewni powodowały intensyfikację szkodliwych zakwitów glonów, co w konsekwencji może mieć szkodliwy wpływ na ryby, ssaki, ptaki, a także ludzi.⁵⁰
- Zmiana klimatu może działać synergistycznie z nutrientami, nasilając eutrofizację i wpływając na dalszą degradację jakości wody i usług ekosystemowych, w tym wpływając na jakość wody przeznaczanej do spożycia.⁵¹
- Organizmy zależne od topniejącego śniegu i strumieni lodowcowych zmniejszają liczebność lub zmieniają swoje rozmieszczenie.⁵²
- Przewiduje się, że uwalnianie metali ciężkich, takich jak rtęć, obecnie magazynowanych w lodowcach i wiecznej zmarzlinie, będzie miało dalszy negatywny wpływ na organizmy słodkowodne.⁵³
- Zmiana klimatu jest powiązana z nowymi, ale i ponownie pojawiającymi się ogniskami chorób wśród słodkowodnych gatunków dzikich zwierząt i roślin.⁵⁴
- Te pozornie odmienne i niewielkie zmiany łączą się, tworząc różnorodne, kumulatywnie stresujące warunki dla gatunków wodnych.⁵⁵

Dowody: wpływ na ludzkość

- Wszystkie formy życia potrzebują wody w odpowiedniej ilości i jakości .
- Rybołówstwo dostarcza wysokiej jakości źródeł białka, które w wielu regionach trudno jest zastąpić żywnością produkowaną na lądzie. Według Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ryby stanowią 17% białka zwierzęcego spożywanego na świecie, rybołówstwo i akwakultura zatrudniają bezpośrednio prawie 60 milionów ludzi, a światowy handel produktami rybnymi osiągnął 152 miliardy USD rocznie, z czego 54% pochodzi z krajów rozwijających się.⁵⁶
- Chociaż w bliskiej przyszłości perspektywie na niektórych nowo powstałych obszarach wolnych od lodu pojawią się nowe łowiska⁵⁷, to przewiduje się, że całkowity połów ryb zmniejszy się w związku z rosnącym spadkiem jakości wody i produkcji pierwotnej w wyniku zmian klimatu. Będzie to miało bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo żywnościowe.⁵⁸ Ocieplenie oceanów i zmiany produkcji pierwotnej są związane ze zmianami w zasobach ryb. Odbudowa populacji ryb spada o 3% na dekadę, a maksymalny potencjał połowowy spadł o 4,1% w XX wieku.⁵⁹ Przewiduje się, że wzrost temperatury wody spowodowany zmianami klimatycznymi przekroczy granice tolerancji dla 10–60% gatunków słodkowodnych i morskich do 2100 roku, w zależności od dopuszczalnej ilości emisji gazów cieplarnianych.⁶⁰
- Przekształcenia ekosystemów wodnych wynikające ze zmian klimatu mają wpływ na dochody, bezpieczeństwo żywnościowe, kluczowe relacje społeczne i utrzymanie społeczeństw.⁶¹

- Zmiany w rozmieszczeniu gatunków wpływają na tradycyjne rybołówstwo od tropików do regionów polarnych poprzez ograniczony dostęp do zasobów ryb, obszarów połowowych i utratę lokalnych umiejętności.⁶²
- Zmiany klimatyczne potęgują oddziaływanie innych zjawisk, takich jak zanieczyszczenie, przełowienie i niezrównoważony rozwój wybrzeża. Przewiduje się, że te połączone czynniki doprowadzą do upadku lokalnego rybołówstwa i gospodarki małoskalowej związanej z ekosystemami wodnymi.⁶³
- Ocieplenie wód wpływa na bezpieczeństwo morskich produktów żywnościowych poprzez podwyższoną bioakumulację metali ciężkich i zanieczyszczeń oraz zwiększone występowanie patogenów przenoszonych przez wodę. Ma to wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt.⁶⁴
- Turystyka i obszary wykorzystywane turystycznie są w wielu aspektach zależne od lokalnych ekosystemów. Nurkowanie, wędkarstwo, obserwowanie ssaków morskich i ptaków oraz inne rekreacyjne aktywności i przedsięwzięcia zależą od utrzymania jakości zasobów wodnych.⁶⁵
- Zmiany klimatu niszczą przybrzeżne ekosystemy, takie jak namorzyny, zbiorowiska roślin morskich, bagna, torfowiska i rafy koralowe, które służą ludziom poprzez ochronę wybrzeży przed erozją, burzami i powodziami, umożliwiając pochłanianie dwutlenku węgla i zapewniając kluczowe siedliska dla dzikich zwierząt.^{66, 67}
- Zmiany klimatu przyczyniają się do degradacji terenów podmokłych, które odgrywają decydującą rolę w magazynowaniu węgla i usuwaniu dwutlenku węgla w obrębie krajobrazu. Szczególną rolę w magazynowaniu węgla pełnią torfowiska, które kumulują na jednostkę powierzchni dwa razy więcej węgla niż ekosystemy leśne, mimo iż zajmują tylko 3% powierzchni lądu.⁶⁸
- Poziom wpływ degradacji środowisk wodnych będzie od stopnia ograniczeń emisji przez poszczególne państwa, a także od wydzielenia stref nadbrzeżnych i przybrzeżnych i zmian w gospodarce rybnej.⁶⁹

Konieczne działania

- Uważamy, że aby zapobiec najbardziej tragicznym konsekwencjom antropogenicznych zmian klimatycznych dla ekosystemów morskich i słodkowodnych, od których istnienia zależy cała ludzkość niezbędne jest szybkie działanie w celu radykalnego ograniczenia emisji gazów cieplarnianych oraz usunięcia CO₂ z atmosfery.
- Dla zapewnienia ochrony i przywrócenia struktury ekosystemów o wysokich zasobach węgla, takich jak torfowiska, zbiorowiska traw morskich i inne tereny podmokłe, które są w stanie efektywnie pochłaniać węgiel i zapobiegać emisji gazów cieplarnianych a przez to zmniejszać negatywne skutki zmian klimatu konieczne jest wytyczenie obligatoryjnych celów na poziomie krajowym i globalnym.
- Rządy, przemysł, środowisko akademickie i wszystkie inne grupy społeczne muszą współdziałać dla ustalenia priorytetów działań i postępować w skoordynowany sposób, tak aby powstrzymać antropogeniczne zmiany klimatu i zapobiec jego tragicznym konsekwencjom.
- Konieczne jest szybkie przejście na takie źródła energii oraz inne produkty i usługi, które nie uwalniają gazów cieplarnianych. Niezbędne staną się także takie badania i strategie polityczne, które sprzyjać będą efektywnemu przejściu do świata niskoemisyjnego, aby spowolnić niszczenie ekosystemów wodnych. Takie przejście

mogłoby zostać dokonane przez wszystkie rządy poprzez natychmiastowe działania w porozumieniu ze specjalistami w dziedzinie technologii odnawialnych źródeł energii, pochłaniania dwutlenku węgla, marketingu, edukacji, zasad społeczno-ekonomicznych i pokrewnych dyscyplin.

- W celu lepszego zrozumienia potencjalnych skutków zmian w ekosystemach wodnych i wyposażenia instytucji zajmujących się zasobami naturalnymi w narzędzia, które służyć będą łagodzeniu negatywnych konsekwencji zmian, wymagane będą efektywne środki dostosowawcze. Niezbędna będzie dalsza identyfikacja i łagodzenie innych środowiskowych czynników stresogennych, które działają równocześnie ze zmianami klimatycznymi. Potrzebne będą dodatkowe źródła gromadzenia danych, mapowanie oraz prowadzenie dalszych badań potrzebnych dla lepszego zrozumienia i przygotowania się na nadchodzące zmiany w ekosystemach wodnych.

Nadszedł czas, aby potrzebę podjęcia działań w celu przeciwdziałania zmianom klimatycznym uznać jako pilną. Opóźnienie działań mających na celu kontrolę emisji gazów cieplarnianych nie jest wystarczającym rozwiązaniem, jeśli ludzkość chce chronić zasoby wodne i bezpieczeństwo środowiska na świecie.

Przypisy

1. Center for International Earth Science Information Network. No date. Percentage of total population “living in coastal areas. Center for International Earth Science Information Network, Earth Institute, Columbia University, New York. Available: https://sedac.ciesin.columbia.edu/es/papers/Coastal_Zone_Pop_Method.pdf. (July 2020).
2. Finlayson C. M., G. T. Davies, W. R. Moomaw, G. L. Chmura, S. M. Natali, J. E. Perry, N. Roulet, and A. E. Sutton-Grier. 2019. The second warning to humanity—providing a context for wetland management and policy. *Wetlands* 39:1–5.
Finlayson C. M., R. D’Cruz, and N. C. Davidson. 2005. *Ecosystems and human well-being: wetlands and water, synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C. Available: www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf. (July 2020).
Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. (July 2020).
Ramsar Convention on Wetlands 2018. *Global wetland outlook: state of the world’s wetlands and their ecosystem services*. Ramsar Convention, Gland, Switzerland. Available: www.global-wetland-outlook.ramsar.org. (July 2020).
World Wildlife Fund. 2018. *Living planet report 2018: aiming higher*. World Wildlife Fund, Gland, Switzerland [pages 75 and 54]. Available:

https://wwf.panda.org/knowledge_hub/all_publications/living_planet_report_2018/. (July 2020).

3. World Economic Forum. 2020. The global risks report 2020 [Figure II and page 31]. World Economic Fund, Geneva, Switzerland. Available: www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2020. (July 2020).
4. European Commission. 2020. The EU strategy on adaptation to climate change [fact sheet]. Available: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/docs/eu_strategy_en.pdf. (July 2020).
5. The number of studies that have investigated effects of human-caused climate change on aquatic systems is vast. Most literature compilations combine already observed effects with those projected. In three reports, we counted a total of more than 2,000 studies that reported observed effects on aquatic systems. We did not count projected effects. These reports are as follows:
Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. 2014. Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: part B: regional aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
Field, C. B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. 2014. Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
Krabbenhoft, T. J., B. J. E. Myers, J. P. Wong, C. Chu, R. W. Tingley, J. Falke, T. J. Kwak, C. P. Paukert, and A. J. Lynch. 2020. FiCli, the Fish and Climate Change Database, informs climate adaptation and management for freshwater fishes. *Scientific Data* 7:124.
Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/srocc/home/. (July 2020).
These are just the beginning of peer-reviewed studies and peer-reviewed compilations of studies that discuss human-caused climate change and the effects of climate change on aquatic ecosystems. Other reports that include both projections and already observed effects on aquatic systems are as follows:
Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel, and J. C. Minx, editors. 2014. Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York. [This report gives methods to control greenhouse gas emissions and other ways to “mitigate” or control the factors affecting climate change itself. Cites close to 10,000 studies.]
Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission

pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Available:

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_High_Res.pdf.

(September 2020). [Cites effects on a variety of systems, including both aquatic and terrestrial. The press release accompanying this document states report cites more than 6,000 scientific references and resulted from contribution of thousands of expert and government reviewers worldwide.] Paukert, G. P., A. J. Lynch, and J. E. Whitney, editors. 2016. Effects of climate change on North American inland fishes. *Fisheries* 41(7). [Full issue concerning effects of climate change on inland fishes containing more than 90 authors and more than 600 cited references.] Reidmiller, D. R., C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. 2018. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Cites effects on a 8 aquatic science shows need for immediate climate action variety of systems, including both aquatic and terrestrial. More than 5,600 references cited, mostly peer-reviewed, and data sets.] Stocker, T. F., D. Qin, G.-K Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, editors. 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York. [Discusses the physical scientific evidence for change to both terrestrial and aquatic systems, citing more than 9,200 scientific publications according to the Working Group 1 fact sheet.] Wuebbles, D. J., D. W. Fahey, K. A. Hibbard, D. J. Dokken, B. C. Stewart, and T. K. Maycock, editors. 2017. Climate science special report: fourth national climate assessment, volume I. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Cites effects on a variety of systems, including both aquatic and terrestrial. Number of references not provided, but likely similar to U.S. Global Change Research Program 2018.]

6. American Geophysical Union (AGU). 2019. Society must address the growing climate crisis now. Position statement. AGU, Washington, D.C.
7. Statements from various academies of sciences include the following:
 - European Academy of Sciences. 2015. Statement. Facing critical decisions on climate change in 2015. Available: <https://easac.eu/publications/details/facing-critical-decisions-on-climate-change-in-2015/>. (September 2020).
 - The Royal Society and the U.S. National Academy of Sciences. 2020. Climate change evidence & causes: update 2020. An overview from the Royal Society and the US National Academy of Sciences. Available: https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf. (September 2020).
 - Academies of Science for the G8+5 Countries. 2008. Joint science academies' statement: climate change: adaptation and the transition to a low carbon society. Available: http://insaindia.res.in/pdf/Climate_05.08_W.pdf. (September 2020).
 - Academies of Science for the G8+5 Countries. 2007. Joint science academies' statement on growth and responsibility: sustainability, energy efficiency and climate protection. Available: www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-20-s4.pdf (September 2020).
 - Network of African Science Academies (NASAC). 2007. Joint statement by the Network of African Science Academies (NASAC) to the G8 on sustainability, energy efficiency and climate change. Available: www.interacademies.org/sites/default/files/publication/nasac_g8_statement_07_-_low_res.pdf. (September 2020).

- Interacademy Medical Panel (IAMP). 2010. Statement on the health co-benefits of policies to tackle climate change. Available: www.interacademies.org/statement/iamp-statement-health-co-benefits-policies-tackleclimate-change. (September 2020).
8. See references in 5. References that cite the causes of climate change, including thorough discussions that show overwhelming evidence that emissions are the chief factor, are found in Collins et al. (2013), Edenhofer et al. (2014), and Masson-Delmotte et al. (2018).
 9. See references in 5. Wuebbles et al. (2017) is the primary U.S. report that discusses the physical basis of climate change.
 10. “As a result of the large ocean inertia and the long lifetime of many greenhouse gases, primarily carbon dioxide, much of the warming would persist for centuries after greenhouse gas emissions have stopped.” [From Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fiechter, P. Friedlingstein, X. Gao, W. J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A. J. Weaver, and M. Wehner. 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. Pages 1029–1136 in T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.] See also the following:

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_HR.pdf. (September 2020).

Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. Technical summary. Pages 37–69 in *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf (September 2020).
 11. See citations included in references in 5. Impacts are documented in vast numbers of studies in these citations.
 12. For increasing impacts on the world’s oceans, freshwaters, and societies, start with the following:

Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Arístegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020).

Brugere C., D. M. Onuigbo, and K. L. Morgan. 2017. People matter in animal

disease surveillance: challenges and opportunities for the aquaculture sector. *Aquaculture* 467:158–169.

Fleming, E., J. Payne, W. Sweet, M. Craghan, J. Haines, J. F. Hart, H. Stiller, and A. Sutton-Grier. 2018. Coastal effects. Pages 322–352 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S. I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. *Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available:

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020).

Lipton, D., M. A. Rubenstein, S. R. Weiskopf, S. Carter, J. Peterson, L. Crozier, M. Fogarty, S. Gaichas, K. J. W. Hyde, T. L. Morelli, J. Morissette, H. Moustahfid, R. Muñoz, R. Poudel, M. D. Staudinger, C. Stock, L. Thompson, R. Waples, and J. F. Weltzin. 2018. Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. Pages 268–321 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.

Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.

Pörtner, H.-O., D. M. Karl, P. W. Boyd, W. W. L. Cheung, S. E. Lluch-Cota, Y. Nojiri, D. N. Schmidt, and P. O. Zavialov. 2014. Ocean systems. Pages 411–484 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.

Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck, and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.

Wong, P. P., I. J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. Coastal systems and low-lying areas. Pages 361–409 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.

13. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. (July 2020). [Pages 7–11.] World Bank. 2019. *Climate change and marine fisheries in Africa: assessing vulnerability and strengthening adaptation capacity*. World Bank, Washington, D.C.
14. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. (July 2020). [Page 4.]
15. Some examples of large-scale, rapid action in response to disease epidemics reported in the following:
Cheng, V. C. C., S. C. Wong, J. H. K. Chen, C. C. Y. Yip, V. W. M. Chuang, O. T. Y. Tsang, S. Sridhar, J. F. W. Chan, P. L. Ho, and K. Y. Yuen. 2020. Escalating infection control response to the rapidly evolving epidemiology of the coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2 in Hong Kong. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 41:493–498.
Smith, N., and M. Fraser. 2020. Straining the system: novel coronavirus (COVID-19) and preparedness for concomitant disasters. *American Journal of Public Health* 110:648–649.
Sohrabi, C., Z. Alsafi, N. O'Neill, M. Khan, A. Kerwan, A. Al-Jabir, C. Iosifidis, and R. Agha. 2020. World Health Organization declares global emergency: a review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19), *International Journal of Surgery* 76:71–76.
16. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Arístegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama,

- and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 450–451, 478–481.] Burrows, M. T., D. S. Schoeman, A. J. Richardson, J. G. Molinos, A. Hoffmann, L. B. Buckley, P. J. Moore, C. J. Brown, J. F. Bruno, C. M. Duarte, B. S. Halpern, O. Hoegh-Guldberg, C. V. Kappel, W. Kiessling, M. I. O'Connor, J. M. Pandolfi, C. Parmesan, W. J. Sydeman, S. Ferrier, K. J. Williams, and E. S. Poloczanska. 2014. Geographical limits to species-range shifts are suggested by climate velocity. *Nature* 507:492–495.
- Chambers, L. E., P. Dann, B. Cannell, and E. J. Woehler. 2014. Climate as a driver of phenological change in southern seabirds. *International Journal of Biometeorology* 58:603–612.
- Chambers, L. E., C. A. Devney, B. C. Congdon, N. Dunlop, E. J. Woehler, and P. Dann. 2011. Observed and predicted impacts of climate on Australian seabirds. *Emu* 111:235–251.
- Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S. I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020). [Pages 218, 222.] Nagelkerken, I., and S. D. Connell, 2015: Global alteration of ocean ecosystem functioning due to increasing human CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112:13272–13277.
- Poloczanska, E. S., C. J. Brown, W. J. Sydeman, W. Kiessling, D. S. Schoeman, P. J. Moore, K. Brander, J. F. Bruno, L. B. Buckley, M. T. Burrows, C. M. Duarte, B. S. Halpern, J. Holding, C. V. Kappel, M. I. O'Connor, J. M. Pandolfi, C. Parmesan, F. Schwing, S. A. Thompson, and A. J. Richardson. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change* 3:919–925.
- Price C. A., K. Hartmann, T. J. Emery, E. J. Woehler, C. R. McMahon, M. A. Hindell. 2020. Climate variability and breeding parameters of a trans-hemispheric migratory seabird over seven decades. *Marine Ecology Progress Series* 642:191–205.
- Vergés, A., P. D. Steinberg, M. E. Hay, A. G. B. Poore, A. H. Campbell, E. Ballesteros, K. L. Heck, D. J. Booth, M. A. Coleman, D. A. Feary, W. Figueira, T. Langlois, E. M. Marzinelli, T. Mizerek, P. J. Mumby, Y. Nakamura, M. Roughan, E. van Sebille, A. S. Gupta, D. A. Smale, F. Tomas, T. Wernberg, and S. K. Wilson, 2014. The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B* 281(1789):20140846.
17. Caputi, N., R. Melville-Smith, S. de Lestang, A. Pearce, and M. Feng. 2010. The effect of climate change on the western rock lobster (*Panulirus cygnus*) fishery of Western Australia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67:85–96.
- Gould, W. A., E. L. Díaz, (co-leads), N. L. Álvarez-Berrios, F. Aponte-González, W.

- Archibald, J. H. Bowden, L. Carrubba, W. Crespo, S. J. Fain, G. González, A. Goulbourne, E. Harmsen, E. Holupchinski, A. H. Khalyani, J. Kossin, A. J. Leinberger, V. I. Marrero-Santiago, O. Martínez-Sánchez, K. McGinley, P. Méndez-Lázaro, J. Morell, M. M. Oyola, I. K. Parés-Ramos, R. Pulwarty, W. V. Sweet, A. Terando, and S. Torres-González, 2018: U.S. Caribbean. Pages 809–871 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.
- Le Bris, A., K. E. Mills, R. A. Wahle, Y. Chen, M. A. Alexander, A. J. Allyn, J. G. Schuetz, J. D. Scott, and A. J. Pershing. 2018. Climate vulnerability and resilience in the most valuable North American fishery. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 115:1831–1836.
18. Barbeaux, S., K. Aydin, B. Fissel, K. Holsman, W. Palsson, K. Shotwell, Q. Yang, and S. Zador. 2017. Assessment of the Pacific Cod stock in the Gulf of Alaska. Pages 189–332 in North Pacific Fisheries Management Council Gulf of Alaska SAFE (Stock Assessment and Fishery Evaluation) [council draft]. Available: www.city.kodiak.ak.us/sites/default/files/fileattachments/fisheries_workgroup/meeting/10388/2017_goa_pcod_stock_assessment.pdf. (July 2020).
19. Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M. M. C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E. A. G. Schuur. 2019. Polar regions. Pages 203–320 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf. (July 2020).
20. Nicholas A. J. Graham, N. A. J., S. K. Wilson, S. Jennings, N. V. C. Polunin, J. P. Bijoux, J. Robinson. 2006. Dynamic fragility of oceanic coral reef ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:8425–8429.
21. Poloczanska, E. S., C. J. Brown, W. J. Sydeman, W. Kiessling, D. S. Schoeman, P. J. Moore, K. Brander, J. F. Bruno, L. B. Buckley, M. T. Burrows, C. M. Duarte, B. S. Halpern, J. Holding, C. V. Kappel, M. I. O’Connor, J. M. Pandolfi, C. Parmesan, F. Schwing, S. A. Thompson, and A. J. Richardson. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change* 3:919–925.
22. Dulvy, N. K., S. I. Rogers, S. Jennings, V. Stelzenmüller, S. R. Dye, and H. R. Skjoldal. 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *Journal of Applied Ecology* 45:1029–1039.
- Hastings, R. A., L. A. Rutterford, J. J. Freer, R. A. Collins, S. D. Simpson, and M. J. Genner. 2020. Climate change drives poleward increases and equatorward declines in marine species. *Current Biology* 30:1572–1577.
- Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 358, 362.]
23. Babcock, R. C., R. H. Bustamante, E. A. Fulton, D. J. Fulton, M. D. E. Haywood, A. J. Hobday, R. Kenyon, R. J. Matear, E. Plaganyi, A. J. Richardson, and M. Vanderklift. 2019. Severe continental-scale impacts of climate change are

- happening now: extreme climate events impact marine habitat forming communities along 45% of the Australian coast. *Frontiers in Marine Science* 6:411.
24. Fleming, E., J. Payne, W. Sweet, M. Craghan, J. Haines, J. F. Hart, H. Stiller, and A. Sutton-Grier. 2018. Coastal effects. Pages 322–352 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 331.] Kaladharan, P., and A. Koya. 2019. Shrinking seagrass meadows observations from four lagoons of Lakshadweep archipelago. *Journal of the Marine Biological Association of India* 61:47–51.
- Wong, P. P., I. J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. Coastal systems and low-lying areas. Pages 361–409 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Page 377.]
25. Fleming, E., J. Payne, W. Sweet, M. Craghan, J. Haines, J. F. Hart, H. Stiller, and A. Sutton-Grier. 2018. Coastal effects. Pages 322–352 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 331.] Friess, D. A., K. Rogers, C. E. Lovelock, K. W. Krauss, S. E. Hamilton, S. Y. Lee, R. Lucas, J. Primavera, A. Rajkaran, and S. Shi. 2019. The state of the world’s mangrove forests: past, present and future. *Annual Review of Environment and Resources* 44:16.1–16.27.
- Jennerjahn, T. C., E. Gillman, K. W. Krauss, L. D. Lacerda, I. Nordhaus, and E. Wolanski. 2017. Mangrove ecosystems under climate change. Pages 211–244 in V. H. Rivera-Monroy, S. Y. Lee, E. Kristensen, and R. R. Twilley, editors. *Mangrove ecosystems: a global biogeographic perspective*. Springer International Publishing, New York.
- Oppenheimer, M., B. C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A. K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R. M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari. 2019. Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. Pages 321–445 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/08_SROCC_Ch04_FINAL.pdf. (July 2020).
- Saintilan, N., N. S. Khan, E. Ashe, J. J. Kelleway, K. Rogers, C. D. Woodroffe, and B. P. Horton. 2020. Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science* 368:1118–1121.
26. Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S. I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y.

Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Available:

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf.

(July 2020). [Pages 229–230.] Gattuso, J.-P., A. Magnan, R. Billé, W. W. L. Cheung, E. L. Howes, F. Joos, D. Allemand, L. Bopp, S. R. Cooley, C. M. Eakin, O. Hoegh-Guldberg, R. P. Kelly, H.-O. Pörtner, A. D. Rogers, J. M. Baxter, D. Laffoley, D. Osborn, A. Rankovic, J. Rochette, U. R. Sumaila, S. Treyer, and C. Turley. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science* 349(6243):aac4722.

Gould, W. A., E. L. Díaz, (co-leads), N. L. Álvarez-Berríos, F. Aponte-González, W. Archibald, J. H. Bowden, L. Carrubba, W. Crespo, S. J. Fain, G. González, A.

Goulbourne, E. Harmsen, E. Holupchinski, A. H. Khalyani, J. Kossin, A. J. Leinberger, V. I. Marrero-Santiago, O. Martínez-Sánchez, K. McGinley, P. Méndez-Lázaro, J. Morell, M. M. Oyola, I. K. Parés-Ramos, R. Pulwarty, W. V. Sweet, A. Terando, and S. Torres-González. 2018. U.S. Caribbean. Pages 809–871 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K.

Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 827–831.] Hughes, T. P., K. D.

Anderson, S. R. Connolly, S. F. Heron, J. T. Kerry, J. M. Lough, A. H. Baird, J. K. Baum, M. L. Berumen, T. C. Bridge, D. C. Claar, C. M. Eakin, J. P. Gilmour, N. A. J. Graham, H. Harrison, J. P. A. Hobbs, A. S. Hoey, M. Hoogenboom, R. J. Lowe, M. T. McCulloch, J. M. Pandolfi, M. Pratchett, V. Schoepf, G. Torda, and S. K. Wilson. 2018. Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science* 359:80–83.

Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 359.] Wong, P.

P., I. J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. Coastal systems and low-lying areas. Pages 361–409 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York. [Pages 378–379.]

27. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available:

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 499–500.] Krumhansl, K. A., D. K. Okamoto, A. Rassweiler, M. Novak, J. J. Bolton, K. C. Cavanaugh, S. D. Connell, C. R. Johnson, B. Konar, S. D. Ling, F. Micheli, K. M. Norderhaug, A. Pérez-Matus, I. Sousa-Pinto, D. C. Reed, A. K. Salomon, N. T. Shears, T. Wernberg, R. J. Anderson, N. S. Barrett, A. H. Buschmann, M. H. Carr, J. E. Caselle, S. Derrien-Courtel, G. J. Edgar, M. Edwards, J. A. Estes, C. Goodwin, M. C. Kenner, D. J. Kushner, F. E. Moy, J. Nunn, R. S. Steneck, J. Vásquez, J. Watson, J. D. Witman, and J. E. K. Byrnes. 2016. Global patterns of kelp forest change over the past half-century. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 113:13785–13790.

Voerman, S. E., E. Llera, and J. M. Rico. 2013. Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain. *Marine Environmental Research* 90:119–127.

Wernberg, T., K. Krumhansl, K. Filbee-Dexter, and M. F. Pedersen. 2019. Status and trends for the world's kelp forests. Pages 57–78 in C. Sheppard, editor. *World seas: an environmental evaluation*. Elsevier, New York.

Wong, P. P., I. J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. Coastal systems and low-lying areas. Pages 361–409 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 377–378.]

28. Babcock, R. C., R. H. Bustamante, E. A. Fulton, D. J. Fulton, M. D. E. Haywood, A. J. Hobday, R. Kenyon, R. J. Matear, E. Plaganyi, A. J. Richardson, and M. Vanderklift. 2019. Severe continental-scale impacts of climate change are happening now: extreme climate events impact marine habitat forming communities along 45% of the Australian coast. *Frontiers in Marine Science* 6:411.

Gattuso, J.-P., A. Magnan, R. Billé, W. W. L. Cheung, E. L. Howes, F. Joos, D. Allemand, L. Bopp, S. R. Cooley, C. M. Eakin, O. Hoegh-Guldberg, R. P. Kelly, H.-O. Pörtner, A. D. Rogers, J. M. Baxter, D. Laffoley, D. Osborn, A. Rankovic, J. Rochette, U. R. Sumaila, S. Treyer, and C. Turley. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science* 349(6243):aac4722.

Gould, W. A., E. L. Díaz, (co-leads), N. L. Álvarez-Berrios, F. Aponte-González, W. Archibald, J. H. Bowden, L. Carrubba, W. Crespo, S. J. Fain, G. González, A. Goulbourne, E. Harmsen, E. Holupchinski, A. H. Khalyani, J. Kossin, A. J. Leinberger, V. I. Marrero-Santiago, O. Martínez-Sánchez, K. McGinley, P. Méndez-Lázaro, J. Morell, M. M. Oyola, I. K. Parés-Ramos, R. Pulwarty, W. V. Sweet, A. Terando, and S. Torres-González. 2018. U.S. Caribbean. Pages 809–871 in D. R. Reidmiller, W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.

Hughes, T. P., K. D. Anderson, S. R. Connolly, S. F. Heron, J. T. Kerry, J. M. Lough, A. H. Baird, J. K. Baum, M. L. Berumen, T. C. Bridge, D. C. Claar, C. M. Eakin, J. P. Gilmour, N. A. J. Graham, H. Harrison, J. P. A. Hobbs, A. S. Hoey, M. Hoogenboom, R. J. Lowe, M. T. McCulloch, J. M. Pandolfi, M. Pratchett, V. Schoepf, G. Torda, and S. K. Wilson. 2018. Spatial and temporal patterns of mass

- bleaching of corals in the Anthropocene. *Science* 359:80–83.
- Levin, L., M. Baker and A. Thompson, editors. 2019. Deep-ocean climate change impacts on habitat, fish and fisheries. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 638, Rome.
- Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. Technical summary. Pages 37–69 in IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf (July 2020). [Page 61.]
29. Bednaršek, N., R. A. Feely, M. W. Beck, S. R. Alin, S. A. Siedlecki, P. Calosi, E. L. Norton, C. Saenger, J. Štrus, D. Greeley, N. P. Nezlin, M. Roethler, and J. I. Spicer. 2020. Exoskeleton dissolution with mechano-receptor damage in larval Dungeness crab related to severity of present-day ocean acidification vertical gradients. *Science of The Total Environment* 716:136610.
- Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 357.]
- Rhein, M., S. R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R. A. Feely, S. Gulev, G. C. Johnson, S. A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L. D. Talley, and F. Wang. 2013. Observations: ocean. Pages 255–267 in T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Wisshak M., C. H. L. Schönberg, A. Form, and A. Freiwald. 2012. Ocean acidification accelerates reef bioerosion. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 7(9):e45124.
30. Hobday, A. J., E. C. J. Oliver, A. S. Gupta, J. A. Benthuisen, M. T. Burrows, M. G. Donat, N. J. Holbrook, P. J. Moore, M. S. Thomsen, T. Wernberg, and D. A. Smale. 2018. Categorizing and naming marine heatwaves. *Oceanography* 31:162–173.
- Holbrook, N. J., H. A. Scannell, A. S. Gupta, J. A. Benthuisen, M. Feng, E. C. J. Oliver, L. V. Alexander, M. T. Burrows, M. G. Donat, A. J. Hobday, P. J. Moore, S. E. Perkins-Kirkpatrick, D. A. Smale, S. C. Straub, and T. Wernberg. 2019. A global assessment of marine heatwaves and their drivers. *Nature Communications* 10:2624.
- Oliver, E. C. J., M. T. Burrows, M. G. Donat, A. S. Gupta, L. V. Alexander, S. E. Perkins-Kirkpatrick, J. A. Benthuisen, A. J. Hobday, N. J. Holbrook, P. J. Moore, M. S. Thomsen, and T. W. D. A. Smale. 2019. Projected marine heatwaves in the 21st century and the potential for ecological impact. *Frontiers in Marine Science* 6:734.
- Oliver, E. C. J., M. G. Donat, M. T. Burrows, P. J. Moore, D. A. Smale, L. V. Alexander, J. A. Benthuisen, M. Feng, A. Sen Gupta, A. J. Hobday, N. J. Holbrook, S. E. Perkins-Kirkpatrick, H. A. Scannell, S. C. Straub, and T. Wernberg. 2018. Ocean warming brings longer and more frequent marine heatwaves. *Nature Communications* 9:1324.

31. Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 355, 357.] Rhein, M., S. R. Rintoul, S. Aoki, E. Campos, D. Chambers, R. A. Feely, S. Gulev, G. C. Johnson, S. A. Josey, A. Kostianoy, C. Mauritzen, D. Roemmich, L. D. Talley, and F. Wang. 2013. Observations: ocean. Pages 255–267 in T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P. M. Midgley, editors. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York. [Pages 294–296.] Schmidtko, S., L. Stramma, and M. Visbeck. 2017. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature* 542:336–339.
32. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 451, 494–498.] Wiedenmann, J., C. D’Angelo, E. G. Smith, A. N. Hunt, F. E. Legiret, A. D. Postle and E. P. Achterberg. 2013. Nutrient enrichment can increase the susceptibility of reef corals to bleaching. *Nature Climate Change* 3:160–164.
33. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 512–513.] Free, C. M., J. T. Thorson, M. L. Pinsky, K. L. Oken, J. Wiedenmann, and O. P. Jensen. 2019. Impacts of historical warming on marine fisheries production. *Science* 363:979–983.
34. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC aquatic science shows need for immediate climate action 17 special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 450–451, 478–502.] Lurgi, M., B. C. Lopez, and J. M.

- Montoya. 2012. Novel communities from climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 367:2913–2922.
35. Burge, C. A., and P. K. Hershberger. 2020. Climate change can drive marine diseases. Pages 83–94 in D. C. Behringer, B. R. Silliman, and K. D. Lafferty, editors. *Marine disease ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Harvell, C. D., and J. B. Lamb. 2020. Disease outbreaks can threaten marine biodiversity. Pages 141–158 in D. C. Behringer, B. R. Silliman, and K. D. Lafferty, editors. *Marine disease ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Lamb, J. B., J. A. J. M. Van de Water, D. G. Bourne, C. Altier, M. Y. Hein, E. A. Fiorenza, N. Abu, J. Jomba, and C. D. Harvell. 2017. Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science* 355:731–733.
- Sokolow, S. 2009. Effects of a changing climate on the dynamics of coral infectious disease: a review of the evidence. *Diseases of Aquatic Organisms* 87:5–18.
36. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 450–454, 478–502.] Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020). [Pages 226–230.] Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. (September 2020). [Pages 12, 22.] Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change

- Research Program, Washington, D.C. [Pages 358–361.] Porter, J. R., L. Xie, A. J. Challinor, K. Cochrane, S. M. Howden, M. M. Iqbal, D. B. Lobell, and M. I. Travasso. 2014. Food security and food production systems. Pages 485–533 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Pörtner, H.-O., D. M. Karl, P. W. Boyd, W. W. L. Cheung, S. E. Lluch-Cota, Y. Nojiri, D. N. Schmidt, and P. O. Zavialov. 2014. Ocean systems. Pages 411–484 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 456–459.] Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. Summary for policymakers. Pages 1–35 in IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: [w.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/03_SROCC_SPM_FINAL.pdf). (July 2020).
37. North American Bird Conservation Initiative. 2016. *The state of North America's birds 2016*. Environment and Climate Change Canada, Ottawa.
- Paleczny, M., E. Hammill, V. Karpouzi, and D. Pauly. 2015. Population trend of the world's monitored seabirds, 1950–2010. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 10(6):e0129342.
38. Bateman, B. L., C. Wilsey, L. Taylor, J. Wu, G. S. LeBaron, and G. Langham. 2020. North American birds require mitigation and adaptation to reduce vulnerability to climate change. *Conservation Science and Practice*, <https://doi.org/10.1111/csp2.242>.
39. Of the 29,500 freshwater dependent species so far assessed for the IUCN Red List, 27% are threatened with extinction. See the following:
- Dudgeon, D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. I. Kawabata, D. J. Knowler, C. Leveque, R. J. Naiman, A. H. Prieur-Richard, D. Soto, M. L. J. Stiassny, and C. A. Sullivan. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81:163–182.
- Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck, and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Page 312.] Tickner, D., J. J. Opperman, R. Abell, M. Acreman, A. H. Arthington, S. E. Bunn, S. J. Cooke, J. Dalton, W. Darwall, G. Edwards, I. Harrison, K. Hughes, T. Jones, D. Leclère, A. J. Lynch, P. Leonard, M. E. McClaine, D. Muruven, J. D. Olden, S. J. Ormerod, J. Robinson, R. E. Tharme, M. Thieme, K.

- Tockner, M. Wright, and L. Young. 2020. Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience* 70:330–342.
- Vörösmarty, C. J., P. B. McIntyre, M. O. Gessner, D. Dudgeon, A. Prusevich, P. Green, S. Glidden, S. E. Bunn, C. A. Sullivan, C. R. Liermann, and P. M. Davies, 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467:555–561.
40. Strayer, D. L., and D. Dudgeon. 2010. Freshwater biodiversity conservation: recent progress and future challenges. *Journal of the North American Benthological Society* 29:344–358.
41. Bloesch, J., C. Sandu, and J. Janning. 2012. Challenges of an integrative water protection and river basin management policy: the Danube case. *River Systems* 20:129–144.
- Harrod, C., A. Ramírez, J. Valbo-Jørgensen and S. Funge-Smith. 2018. How climate change impacts inland fisheries. Pages 375–391 in M. Barange, T. Bahri, M. C. M. Beveridge, K. L. Cochrane, S. Funge-Smith, and F. Poulain, editors. *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627, Rome.
42. Alexander, J. E., Jr., and K. C. Wagoner. 2016. Respiratory response to temperature variability in the river snail *Lithasia obovata* and its relevance to the potential impacts of climate change on freshwater gastropods. *American Malacological Bulletin* 34:1–14.
- Bănăduc D., M. Joy, H. Olosutean, S. Afanasyev, and A. Curtean-Bănăduc. 2020. Natural and anthropogenic driving forces as key elements in the Lower Danube basin—south-eastern Carpathians—north-western Black Sea coast area lakes: a broken stepping stones for fish in a climatic change scenario? *Environmental Science Europe* 32: article 7.
- Ferreira-Rodriguez, N. 2019. Spatial aggregation of native with non-native freshwater bivalves and activity depletion under summer heat waves: ‘dangerous liaisons’ in a climate change context. *Hydrobiologia* 834:75–85.
- Ganser, A. M., T. J. Newton, and R. J. Haro. 2013. The effects of elevated water temperature on native juvenile mussels: implications for climate change. *Freshwater Science* 32:1168–1177.
- Lipton, D., M. A. Rubenstein, S. R. Weiskopf, S. Carter, J. Peterson, L. Crozier, M. Fogarty, S. Gaichas, K. J. W. Hyde, T. L. Morelli, J. Morissette, H. Moustahfid, R. Muñoz, R. Poudel, M. D. Staudinger, C. Stock, L. Thompson, R. Waples, and J. F. Weltzin. 2018. Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. Pages 268–321 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 273–279.]
- Lynch, A. J., B. J. E. Myers, C. Chu, L. A. Eby, J. A. Falke, R. P. Kovach, T. J. Krabbenhoft, T. J. Kwak, J. Lyons, C. P. Paukert, and J. E. Whitney. 2016. Climate change effects on North American inland fish populations and assemblages. *Fisheries* 41:346–361.
- Markovic, D., S. Carrizo, J. Freyhof, N. Cid, S. Lengyel, M. Scholz, H. Kasperdius, and W. Darwall. 2014. Europe’s freshwater biodiversity under climate change: distribution shifts and conservation needs. *Diversity and Distributions* 20:1097–1107.
- Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck, and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N.

- Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York. [Pages 312–314.]
43. Dai, A. 2013. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change* 3:52–58.
- Gonzalez, P., G. M. Garfin, D. D. Breshears, K. M. Brooks, H. E. Brown, E. H. Elias, A. Gunasekara, N. Huntly, J. K. Maldonado, N. J. Mantua, H. G. Margolis, S. McAfee, B. R. Middleton, and B. H. Udall. 2018. Southwest. Pages 1101–1184 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.
- Jiménez Cisneros, B. E., T. Oki, N. W. Arnell, G. Benito, J. G. Cogley, P. Döll, T. Jiang, and S. S. Mwakalila. 2014. Freshwater resources. Pages 229–269 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, 20 aquatic science shows need for immediate climate action adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects*. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Vertessy, R., D. Barma, L. Baumgartner, S. Mitrovic, F. Sheldon, and N. Bond. 2019. Independent assessment of the 2018–19 fish deaths in the lower Darling. Final Report. Available: www.mdba.gov.au/sites/default/files/pubs/Final-Report-Independent-Panel-fish-deaths-lower%20Darling_4.pdf. (July 2020).
44. Center, T. D., and N. R. Spencer. 1981. The phenology and growth of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) in a eutrophic north-central Florida lake. *Aquatic Botany* 10:1–32.
- Döll, P., and S. E. Bunn. 2014. Cross-chapter box on the impact of climate change on freshwater ecosystems due to altered river flow regimes. Pages 143–146 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: part A: global and sectoral aspects*. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York.
- Rahel, F. J., and J. D. Olden. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology* 22:521–533.
- Rehage, J. S., and J. R. Blanchard. 2016. What can we expect from climate change for species invasions? *Fisheries* 405–407.
- Oliver, J. D. 1993. A review of the biology of giant salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell). *Journal of Aquatic Plant Management* 31:227–231.
- Pimentel, D., R. Zuniga, and D. Morrison. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52:273–288.
45. Alahuhta, J., J. Heino, and M. Luoto, 2011: Climate change and the future distributions of aquatic macrophytes across boreal catchments. *Journal of Biogeography* 38:383–393.
- Comte, L., and G. Grenouillet, 2013. Do stream fish track climate change?

- Assessing distribution shifts in recent decades. *Ecography* 36:1236–1246.
- Galego de Oliveira, A., D. Bailly, F. A. S. Cassemiro, E. V. d. Couto, N. Bond, D. Gilligan, T. F. Rangel, A. A. Agostinho, and M. J. Kennard. 2019. Coupling environment and physiology to predict effects of climate change on the taxonomic and functional diversity of fish assemblages in the Murray–Darling basin, Australia. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 14(11):e0225128.
- Lipton, D., M. A. Rubenstein, S. R. Weiskopf, S. Carter, J. Peterson, L. Crozier, M. Fogarty, S. Gaichas, K. J. W. Hyde, T. L. Morelli, J. Morissette, H. Moustahfid, R. Muñoz, R. Poudel, M. D. Staudinger, C. Stock, L. Thompson, R. Waples, and J. F. Weltzin. 2018. Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. Pages 268–321 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 275, 276–277, 281.]
- Rahel, F. J., and J. D. Olden. 2008. Assessing the effects of climate change on aquatic invasive species. *Conservation Biology* 22:521–533.
- Rehage, J. S., and J. R. Blanchard. 2016. What can we expect from climate change for species invasions? *Fisheries* 405–407.
- Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck, and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 295, 312–314, 295.]
- Sorte, C. J. B., I. Ibáñez, D. M. Blumenthal, N. A. Molinari, L. P. Miller, E. D. Grosholz, J. M. Diez, C. M. D’Antonio, J. D. Olden, S. J. Jones, and J. S. Dukes. 2013. Poised to prosper? A cross-system comparison of climate change effects on native and non-native species performance. *Ecology Letters* 16:261–270.
46. Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck, and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 295, 312–314.]
47. Lipton, D., M. A. Rubenstein, S. R. Weiskopf, S. Carter, J. Peterson, L. Crozier, M. Fogarty, S. Gaichas, K. J. W. Hyde, T. L. Morelli, J. Morissette, H. Moustahfid, R. Muñoz, R. Poudel, M. D. Staudinger, C. Stock, L. Thompson, R. Waples, and J. F. Weltzin. 2018. Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. Pages 268–321 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 285.]
- Lynch, A. J., B. J. E. Myers, C. Chu, L. A. Eby, J. A. Falke, R. P. Kovach, T. J. Krabbenhoft, T. J. Kwak, J. Lyons, C. P. Paukert, and J. E. Whitney. 2016. Climate change effects on North American inland fish populations and assemblages. *Fisheries* 41:346–361.
- Whitney, J. E., R. Al-Chokhachy, D. B. Bunnell, C. A. Caldwell, S. J. Cooke, E. J.

- Ellason, M. Rogers, A. J. Lynch, and C. P. Paukert. 2016. Physiological basis of climate change impacts on North American inland fishes. *Fisheries* 41:332–345.
48. Goode, J. R., C. H. Luce, and J. M. Buffington. 2012. Enhanced sediment delivery in a changing climate in semi-arid mountain basins: implications for water resource management and aquatic habitat in the northern Rocky Mountains. *Geomorphology* 139–140:1–15.
- Lall, U., T. Johnson, P. Colohan, A. Aghakouchak, C. Brown, G. McCabe, R. Pulwarty, and A. Sankarasubramanian. 2018. *Water*. Pages 145–173 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.
- Lyon, J. P., and J. P. O'Connor. 2008. Smoke on the water: can riverine fish populations recover following a catastrophic fire-related sediment slug? *Austral Ecology* 33:794–806.
- Vose, J. M., D. L. Peterson, G. M. Domke, C. J. Fettig, L. A. Joyce, R. E. Keane, C. H. Luce, J. P. Prestemon, L. E. Band, J. S. Clark, N. E. Cooley, A. D'Amato, and J. E. Halofsky. 2018. *Forests*. Pages 232–267 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C.
49. Morant, D., A. Picazo, C. Rochera, A. C. Santamans, J. Miralles-Lorenzo, A. Camacho-Santamans, C. Ibañez, M. Martínez-Eixarch, and A. Camacho. 2020. The role of ecological features and conservation status on the carbon cycle and methane emissions in the Ebro Delta wetlands. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 15(4):e0231713.
- Hooijer, A., S. Page, J. Jauhiainen, W. A. Lee, X. X. Lu, A. Idris, and G. Anshari. 2011. Subsidence and carbon loss in drained tropical peatland: reducing uncertainty and implications for CO₂ emission reduction options. *Biogeosciences Discussions* 8:931–935.
- Page, S. E., and A. Hooijer. 2016. In the line of fire: the peatlands of Southeast Asia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 371:20150176.
- Turetsky, M. R., B. Benscoter, S. Page, G. Rein, G. R. van der Werf, and A. Watts. 2014. Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience* 8:11–14.
50. Chapra, S. C., B. Boehlert, C. Fant, V. J. Bierman, J. Henderson, D. Mills, D. M. L. Mas, L. Rennels, L. Jantarasami, J. Martinich, K. M. Strzepek, and H. W. Paerl. 2017. Climate change impacts on harmful algal blooms in U.S. freshwaters: a screening-level assessment. *Environmental Science and Technology* 51:8933–8943.
- Jöhnk, K. D., J. Huisman, J. Sharples, B. Sommeijer, P. M. Visser, and J. M. Stroom, 2008. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology* 14:495–512.
- Michalak, A. M., E. J. Anderson, D. Beletsky, S. Boland, N. S. Bosch, T. B. Bridgeman, J. D. Chaffin, K. Cho, R. Confesor, I. Daloğlu, J. V. DePinto, M. A. Evans, G. L. Fahnenstiel, L. He, J. C. Ho, L. Jenkins, T. H. Johengen, K. C. Kuo, E. LaPorte, X. Liu, M. R. McWilliams, M. R. Moore, D. J. Posselt, R. P. Richards, D. Scavia, A. L. Steiner, E. Verhamme, D. M. Wright, and M. A. Zagorski. 2013. Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110:6448–6452.
- Settele, J., R. Scholes, R. Betts, S. Bunn, P. Leadley, D. Nepstad, J. T. Overpeck,

- and M. A. Taboada. 2014. Terrestrial and inland water systems. Pages 271–359 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Billir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Page 291.]
51. Gordon, L., C. M. Finlayson, and M. Falkenmark. 2010. Managing water in agriculture to deal with trade-offs and find synergies among food production and other ecosystem services. *Agricultural Water Management* 97:512–519.
Jenny, J.-P., O. Anneville, F. Arnaud, Y. Baulaz, D. Bouffard, I. Domaizon, S. A. Bocaniov, N. Chèvre, M. Dittrich, J.-M. Dorioz, E. S. Dunlop, G. Dur, J. Guillard, T. Guinaldo, S. Jacquet, A. Jamoneau, Z. Jawed, E. Jeppesen, G. Krantzberg, J. Lenters, B. Leoni, M. Meybeck, V. Nava, T. Nöges, P. Nöges, M. Patelli, V. Pebbles, M.-E. Perga, S. Rasconi, C. R. Ruetz III, L. Rudstam, N. Salmaso, S. Sapna, D. Straile, O. Tam-meorg, M. R. Twiss, D. G. Uzarski, A.-M. Ventelä, W. F. Vincent, S. W. Wilhelm, S.-Å. Wängberg, and G. A. Weyhenmeyer. 2020. Scientists' warning to humanity: rapid degradation of the world's large lakes. *Journal of Great Lakes Research* 46:686–702.
 52. Heim, K. C., M. S. Wipfli, M. S. Whitman, C. D. Arp, J. Adams, and J. A. Falke. 2016. Seasonal cues of Arctic Grayling movement in a small Arctic stream: the importance of surface water connectivity. *Environmental Biology of Fishes* 99:49–65.
Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M. M. C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E. A. G. Schuur. 2019. Polar regions. Pages 203–320 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf. (July 2020). [Page 256.] Poesch, M. S., L. Chavarie, C. Chu, S. N. Pandit, and W. Tonn. 2016. Climate change impacts on freshwater fishes: a Canadian perspective. *Fisheries* 41:385–391.
 53. Hock, R., G. Rasul, C. Adler, B. Cáceres, S. Gruber, Y. Hirabayashi, M. Jackson, A. Kääb, S. Kang, S. Kutuzov, A. Milner, U. Molau, S. Morin, B. Orlove, and H. Steltzer. 2019. High mountain areas. Pages 131–202 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/06_SROCC_Ch02_FINAL.pdf. (July 2020).
Zhang, Q., J. Huang, F. Wang, L. Mark, J. Xu, D. Armstrong, C. Li, Y. Zhang, and S. Kang. 2012. Mercury distribution and deposition in glacier snow over western China. *Environmental Science and Technology* 46:5404–5413.
 54. Marcos-Lopéz, M., P. Gale, B. C. Oidtmann, and E. J. Peeler. 2010. Assessing the impact of climate change on disease emergence in freshwater fish in the United Kingdom. *Transboundary and Emerging Diseases* 57:293–304.
Olusanya, H. O., and M. van Zyll de Jong. 2018. Assessing the vulnerability of freshwater fishes to climate change in Newfoundland and Labrador. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 13(12):e0208182.

- Viana, D. S. 2017. Can aquatic plants keep pace with climate change? *Frontiers in Plant Science* 8:1906.
55. Lipton, D., M. A. Rubenstein, S. R. Weiskopf, S. Carter, J. Peterson, L. Crozier, M. Fogarty, S. Gaichas, K. J. W. Hyde, T. L. Morelli, J. Morissette, H. Moustahfid, R. Muñoz, R. Poudel, M. D. Staudinger, C. Stock, L. Thompson, R. Waples, and J. F. Weltzin. 2018. Ecosystems, ecosystem services, and biodiversity. Pages 268–321 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 282–283.] Ormerod, S. J., M. Dobson, A. G. Hildrew, and C. R. Townsend. 2010. Multiple stressors in freshwater ecosystems. *Freshwater Biology* 55(s1).
- Tockner, K., M. Pusch, D. Borchardt, and M. S. Lorang. 2010. Multiple stressors in coupled river–floodplain ecosystems. *Freshwater Biology* 55(s1):135–151.
56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2018. *The state of world fisheries and aquaculture 2018: meeting the sustainable development goals*. FAO, Rome.
57. Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M. M. C. Muelbert, G. Ottersen, H. Pritchard, and E. A. G. Schuur. 2019. Polar regions. Pages 203–320 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf. (July 2020). [Pages 256–257, 261–262.] Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020). [Pages 222, 239.]
58. Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. Technical summary. Pages 37–69 in *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf. (July 2020). [Pages 61, 65.]
59. Magnan, A. K., M. Garschagen, J.-P. Gattuso, J. E. Hay, N. Hilmi, E. Holland, F. Isla, G. Kofinas, I. J. Losada, J. Petzold, B. Ratter, T. Schuur, T. Tabe, and R. van de Wal. 2019. Cross-chapter box 9: integrative cross-chapter box on low-lying islands and coasts. Pages 657–674 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. *IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate*. Available:

- www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/11_SROCC_CCB9-LLIC_FINAL.pdf. (2020).
- Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. Technical summary. Pages 37–69 in IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf. (September 2020). [Page 61.]
60. Dahlke, F. T., S. Wohlrab, M. Butzin, and H.-O. Pörtner. 2020. Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science* 369:65–70.
61. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 451, 502–503.] Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020). [Pages 180, 212, 230, 237–238.] Junk, W. J., S. An, C. M. Finlayson, B. Gopal, J. Květ, S. A. Mitchell, W. J. Mitsch, and R. D. Robarts. 2013. Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. *Aquatic Sciences* 75:151–167.
- Magnan, A. K., M. Garschagen, J.-P. Gattuso, J. E. Hay, N. Hilmi, E. Holland, F. Isla, G. Kofinas, I. J. Losada, J. Petzold, B. Ratter, T. Schuur, T. Tabe, and R. van de Wal. 2019. Cross-chapter box 9: integrative cross-chapter box on low-lying islands and coasts. Pages 657–674 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/11_SROCC_CCB9-LLIC_FINAL.pdf. (2020). [Page 664.] Markon, C., S. Gray, M. Berman, L. Eerkes-Medrano, T. Hennessy, H. Huntington, J. Littell, M. McCammon, R. Thoman, and S. Trainor. 2018. Alaska. Pages 1185–1241 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. Meredith, M., M. Sommerkorn, S. Cassotta, C. Derksen, A. Ekaykin, A. Hollowed, G. Kofinas, A. Mackintosh, J. Melbourne-Thomas, M. M. C. Muelbert, G. Ottersen,

- H. Pritchard, and E. A. G. Schuur. 2019. Polar regions. Pages 203–320 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/07_SROCC_Ch03_FINAL.pdf. (July 2020). [Pages 260, 262–263.] Pendleton, L., A. Comte, C. Langdon, J. A. Ekstrom, S. R. Cooley, L. Suatoni, M. W. Beck, L. M. Brander, L. Burke, J. E. Cinner, C. Doherty, P. E. T. Edwards, D. Gledhill, L.-Q. Jiang, R. J. van Hooijdonk, L. The, G. G. Waldbusser, and J. Ritter. 2016. Coral reefs and people in a high-CO2 world: where can science make a difference to people? PLOS (Public Library of Science) ONE 11(11):e0164699.
- Pershing, A. J., M. A. Alexander, C. M. Hernandez, L. A. Kerr, A. Le Bris, K. E. Mills, J. A. Nye, N. R. Record, H. A. Scannell, J. D. Scott, G. D. Sherwood, and A. C. Thomas. 2015. Slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery. *Science* 350:809–812.
- Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 361–362, 365–366.]
62. Barange, M., T. Bahri, M. C. M. Beveridge, K. L. Cochrane, S. Funge-Smith, and F. Poulain, editors. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fisheries and Aquaculture Technical Paper 627, Rome.
- Markon, C., S. Gray, M. Berman, L. Eerkes-Medrano, T. Hennessy, H. Huntington, J. Littell, M. McCammon, R. Thoman, and S. Trainor. 2018. Alaska. Pages 1185–1241 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 1204–1206.] Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/srocc/home/. (July 2020). [Pages 15–16.]
63. Cheung, W. W. L., V. W. Y. Lam, J. L. Sarmiento, K. Kearney, R. Watson, Z. Zeller, and D. Pauly. 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology* 16:24–35.
- Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K. L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijikata, S. Mehrotra, A. Payne, S. I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou. 2018. Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. Pages 175–311 in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Available:

www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter3_Low_Res.pdf. (July 2020). [Pages 230, 237.] McClanahan, T. R., E. H. Allison, and J. E. Cinner. 2015. Managing fisheries for human and food security. *Fish and Fisheries* 16:78–103.

64. Alava, J. J., W. W. L. Cheung, P. S. Ross, and U. Rashid Sumaila. 2017. Climate change—contaminant interactions in marine food webs: toward a conceptual framework. *Global Change Biology* 23:3984–4001.
- Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 509–512.] Vezzulli, L., C. Grande, P. C. Reid, P. Hélaouët, M. Edwards, M. G. Höfle, I. Brettar, R. R. Colwell, and C. Pruzzo. 2016. Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113:E5062–E5071.
65. Bindoff, N. L., W. W. L. Cheung, J. G. Kairo, J. Aristegui, V. A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M. S. Karim, L. Levin, S. O’Donoghue, S. R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. 2019. Changing ocean, marine ecosystems, and dependent communities. Pages 447–587 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/09_SROCC_Ch05_FINAL-1.pdf. (September 2020). [Pages 516–517.] Chen, P.-Y., C.-C. Chen, L. Chu, and B. McCarl. 2015. Evaluating the economic damage of climate change on global coral reefs. *Global Environmental Change* 30:12–20.
- Cisneros-Montemayor, A. M., and U. R. Sumaila, 2010: A global estimate of benefits from ecosystem-based marine recreation: potential impacts and implications for management. *Journal of Bioeconomics* 12:245–268.
- Gattuso, J.-P., O. Hoegh-Guldberg, and H.-O. Pörtner. 2014. Cross-chapter box on coral reefs. Pages 97–100 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Markham, A., E. Osipova, K. Lafrenz Samuels, and A. Caldas. 2016. *World heritage and tourism in a changing climate*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.
66. Alexandrov, G. A., V. A. Brovkin, T. Kleinen, and Z. Yu. 2020. The capacity of northern peatlands for long-term carbon sequestration. *Biogeosciences* 17:47–54.
- Alongi, D. M. 2008. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and

- responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76:1–13.
- Kaladharan, P., A. M. Amalu, and S. Revathy, 2019. Role of seaweeds in neutralizing the impact of seawater acidification: a laboratory study with beached shells of certain bivalves and spines of a sea urchin. *Journal of the Marine Biological Association of India* 61:94–99.
- Nahlik A. M., and M. S. Fennessy. 2016. Carbon storage in US wetlands. *Nature Communications*. 7:1–9.
- Oppenheimer, M., B. C. Glavovic, J. Hinkel, R. van de Wal, A. K. Magnan, A. Abd-Elgawad, R. Cai, M. Cifuentes-Jara, R. M. DeConto, T. Ghosh, J. Hay, F. Isla, B. Marzeion, B. Meyssignac, and Z. Sebesvari. 2019. Sea level rise and implications for low-lying islands, coasts and communities. Pages 321–445 in H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. IPCC special report on the ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/srocc/chapter/chapter-4-sea-level-rise-and-implications-for-low-lying-islands-coasts-and-communities/ (September 2020). [Pages 380, 411.]
- Orth, R. J., T. J. B. Carruthers, W. C. Dennison, C. M. Duarte, J. W. Fourqurean, K. L. Heck, Jr., A. R. Hughes, G. A. Kendrick, W. J. Kenworthy, S. Olyarnik, F. T. Short, M. Waycott, and S. L. Williams. 2006. A global crisis for seagrass ecosystems. *BioScience* 56:987–996.
- Pendleton, L., D. C. Donato, B. C. Murray, S. Crooks, W. A. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J. W. Fourqurean, J. B. Kauffman, N. Marbá, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon, and A. Baldera. 2012. Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLOS (Public Library of Science) ONE* 7(9):e43542.
- Reguero, B. G., M. W. Beck, V. N. Agostini, P. Kramer, and B. Hancock. 2018. Coral reefs for coastal protection: a new methodological approach and engineering case study in Grenada. *Journal of Environmental Management* 210:146–161.
- Waycott M., C. M. Duarte, T. J. B. Carruthers, R. J. Orth, W. C. Dennison, S. Olyarnike, A. Calladinea, J. W. Fourqurean, K. L. Heck, Jr., A. R. Hughes, G. A. Kendrick, W. J. Kenworthy, F. T. Short, and S. L. Williams. 2009. Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106:12377–12381.
- Wong, P. P., I. J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K. L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger. 2014. Coastal systems and low-lying areas. Pages 361–409 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 386–388.]
67. Dargie, G. C. 2017. Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature* 542:86–90.
- Davies, P. M. 2010. Climate change implications for river restoration in global biodiversity hotspots. *Restoration Ecology* 18:261–268.
- Feld, C. K., M. R. Fernandes, M. T. Ferreira, D. Hering, S. J. Ormerod, M. Venohr, and C. Gutiérrez-Cánovas. 2018. Evaluating riparian solutions to multiple stressor problems in river ecosystems—a conceptual study. *Water Research* 139:381–394.
- Gundersen, P., A. Laurén, L. Finér, E. Ring, H. Koivusalo, M. Sætersdal, J. O. Weslien, B. D. Sigurdsson, L. Högbom, J. Laine, and K. Hansen. 2010. Environmental services provided from riparian forests in the Nordic countries.

- Ambio 39:555–566.
- Baker, J. P., and S. A. Bonar. 2019. Using a mechanistic model to develop management strategies to cool Apache Trout streams under the threat of climate change. *North American Journal of Fisheries Management* 39:849–867.
- Vose, J. M., D. L. Peterson, G. M. Domke, C. J. Fettig, L. A. Joyce, R. E. Keane, C. H. Luce, J. P. Prestemon, L. E. Band, J. S. Clark, N. E. Cooley, A. D’Amato, and J. E. Halofsky. 2018. Forests. Pages 232–267 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Page 246.]
68. Alexandrov, G. A., V. A. Brovkin, T. Kleinen, and Z. Yu. 2020. The capacity of northern peatlands for long-term carbon sequestration. *Biogeosciences* 17:47–54.
- Camacho, A., A. Picazo, C. Rochera, A. C. Santamans, D. Morant, J. Miralles-Lorenzo, and A. Castillo-Escriva. 2017. Methane emissions in Spanish saline lakes: current rates, temperature and salinity responses, and evolution under different climate change scenarios. *Water* 9:659.
- Crump, J., editor. 2017. *Smoke on water: countering global threats from peatland loss and degradation—a rapid response assessment*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya and GRIDArendal, Arendal, Norway.
- Leifeld, J., and L. Menichetti. 2018. The underappreciated potential of peatlands in global climate change mitigation strategies. *Nature Communications* 9:article 1071.
- Ramsar Convention on Wetlands. 2018. *Global wetland outlook: state of the world’s wetlands and their services to people*. Ramsar Convention Secretariat, Gland, Switzerland.
69. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P. R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, editors. 2018. Summary for policymakers. Pages 1–24 in *Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Available: www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf. (September 2020). [Pages 7–11.]
- Pershing, A. J., R. B. Griffis, E. B. Jewett, C. T. Armstrong, J. F. Bruno, D. S. Busch, A. C. Haynie, S. A. Siedlecki, and D. Tommasi. 2018. Oceans and marine resources. Pages 353–390 in D. R. Reidmiller, C. W. Avery, D. R. Easterling, K. E. Kunkel, K. L. M. Lewis, T. K. Maycock, and B. C. Stewart, editors. *Impacts, risks, and adaptation in the United States: fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C. [Pages 362, 364.]
- Porter, J. R., L. Xie, A. J. Challinor, K. Cochrane, S. M. Howden, M. M. Iqbal, D. B. Lobell, and M. I. Travasso. 2014. Food security and food production systems. Pages 485–533 in C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea, and L. L. White, editors. *Climate change 2014—impacts, adaptation, and vulnerability: Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York. [Pages 516–517.]
- Pörtner, H.-O., D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, and N. M. Weyer, editors. 2019. IPCC special report on the

ocean and cryosphere in a changing climate. Available: www.ipcc.ch/srocc/home/. (July 2020). [Pages 17–28, 31–33.]