

8 KAMTSCHATKA: KLIMATRENDS, ÖFFENTLICHE WAHRNEHMUNG DES WANDELS UND REAKTION DER ÖKOSYSTEME

Ol'ga Černjagina und Vadim Kiričenko

Einführung

Die Region Kamtschatka (*Kamčatskij kraj*) ist ein weiträumiges Verwaltungsgebiet innerhalb Russlands im Nordosten Asiens mit einer Fläche von 472300 km². Es befindet sich auf der Halbinsel Kamtschatka am Rande des Kontinents und umfasst ebenfalls einige Inseln im Beringmeer – die Bering-Insel, die Mednij-Insel und die Karaginskij-Insel. Die Verwaltungshauptstadt ist Petropavlovsk-Kamčatskij im Süden der Halbinsel (Abb. 1).



Abb. 1: Siedlungen und Orte in der Region Kamtschatka

Die Bevölkerung wird auf 300 000 Menschen geschätzt. Der Anteil der städtischen Bevölkerung liegt bei über 75 %. Im nördlichen Teil der Halbinsel und in den Gebieten im Landesinneren leben weniger als 19 000 Menschen. Zur indigenen Bevölkerung gehören die Korjaken, Čukčen, Itelmenen, Evenen und die Aleuten.

Das Klima in der Region Kamtschatka und seine Entwicklung in den letzten Jahrzehnten war Gegenstand von Untersuchungen und Diskussionen sowohl in wissenschaftlichen Arbeiten als auch in Berichten von Regierungs- und Umweltorganisationen. Die Analyse der veröffentlichten Daten und die Aussagen der Menschen, die in diesem Gebiet leben, lassen nicht darauf schließen, dass der Klimawandel bereits spürbare Auswirkungen auf einzelne Wirtschaftstätigkeiten und die Wirtschaft der Region Kamtschatka hat. Es gibt jedoch Anzeichen für den Beginn von Veränderungen in den Ökosystemen, und es ist notwendig, die Überwachung jetzt zu organisieren, um Vergleichsmaterial für die Entwicklung dieser Prozesse und die Vorhersage von Veränderungsprozessen zu haben.

In diesem Beitrag fassen wir die veröffentlichten Daten über das Klima und die Trends des Klimawandels in der Region Kamtschatka zusammen und stellen sie grafisch dar, ergänzen sie mit Ansichten der lokalen Bevölkerung zu den beobachteten Auswirkungen des Klimawandels (Umfragen im Sommer und Herbst 2021) und systematisieren das gesammelte wissenschaftliche Material über die Veränderungen in den Ökosystemen der Region Kamtschatka.

Klimatische Merkmale der Region Kamtschatka

Die ersten sporadischen meteorologischen Beobachtungen auf der Halbinsel Kamtschatka gehen auf die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts zurück. Es war die Zeit der ersten Forschungs Expeditionen, und die Beobachtungen wurden seinerzeit unregelmäßig durchgeführt. Fortlaufende meteorologische Beobachtungen begannen in Petropavlovsk-Kamčatskij im August 1890, als in der Stadt eine meteorologische Station eingerichtet wurde, die noch heute in Betrieb ist (Vinogradov et al. 1990).

Seitdem, im 20. Jahrhundert, hat es viele Veränderungen gegeben. Während der Sowjetzeit stieg die Zahl der meteorologischen Stationen von 11 auf 30 (im Jahr 1939), und im Jahr 1970 umfasste das meteorologische Netz von Kamtschatka 47 Stationen und 31 Posten. Im Jahr 1934 nahm der Hydrometeorologische Dienst Kamtschatkas seine Arbeit auf, die bis heute andauert. Nach dem Zusammenbruch der UdSSR im Jahr 1991 wurde das meteorologische System erheblich umorganisiert und besteht heute aus 37 Stationen und 87 Posten, von denen 21 zum Netz der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) gehören (Abb. 2).

Eine der größten Unzulänglichkeiten des meteorologischen Systems von Kamtschatka ist die Tatsache, dass sich die Stationen hauptsächlich an der Küste und in den Tälern der großen Flüsse befinden und in den Bergen nicht vorhanden sind. Der

nördliche und kontinentale Teil von Kamtschatka ist durch meteorologische Daten sehr schlecht vertreten (Abb. 2).

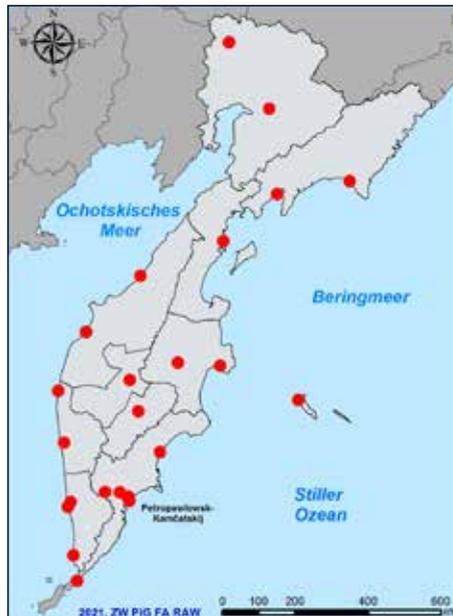


Abb. 2: Meteorologische Stationen im WMO-Netz

Die ersten allgemeinen Merkmale des Klimas auf der Halbinsel Kamtschatka wurden Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts ermittelt. Trotz des Mangels an zuverlässigen und systematischen Beobachtungen weisen die Autoren dieser Merkmale zu Recht auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen an den Ost- und Westküsten hin und erläutern die Gründe dafür. Sie kommen auch zum ersten Mal zu dem Schluss, dass Kamtschatka nicht zum Monsungebiet gehört (Sljunin 1900; Vlasov 1916). In dem darauffolgenden mehr als einem halben Jahrhundert wurden zahlreiche Versuche unternommen, die klimatischen Eigenschaften Kamtschatkas als Gebiet zu beschreiben (Metereologičeskie... 1966; Agalakov 1967; 1973). Sie alle blieben jedoch aufgrund des schlecht ausgebauten Beobachtungsnetzes und seiner relativ kurzen Periodizität über den größten Teil der Halbinsel recht begrenzt (Vinogradov et al. 1990).

Zum ersten Mal hat V.I. Kondratjuk (1974) in seinem Buch *Klimat Kamčatki* (Das Klima Kamtschatkas) eine hinreichend vollständige Beschreibung der klimabildenden Faktoren und der klimatischen Besonderheiten des Territoriums Kamtschatkas vorgelegt. Das Werk fasst zum ersten Mal das gesamte gesammelte Material über meteorologische Beobachtungen der Vorgänger zusammen, liefert eine klimatische Zonierung, identifiziert und beschreibt die Klimaregionen ausreichend detailliert (Abb. 3).

Der Beschreibung zufolge sind die klimatischen Bedingungen in der Region Kamtschatka sehr vielfältig, was auf den Einfluss der weiten Wasserflächen zurückzuführen ist, die die Halbinsel Kamtschatka umgeben, nämlich der Pazifik, das Beringmeer und das Ochotskische Meer. Das Klima wird stark von der aktiven Zyklonaktivität und der komplexen Topografie beeinflusst (Abb. 3). Unter den klimabildenden Faktoren überwiegen hier die Zirkulationsprozesse, während die Rolle der Sonneneinstrahlung und des Feuchteumsatzes deutlich geringer ist.

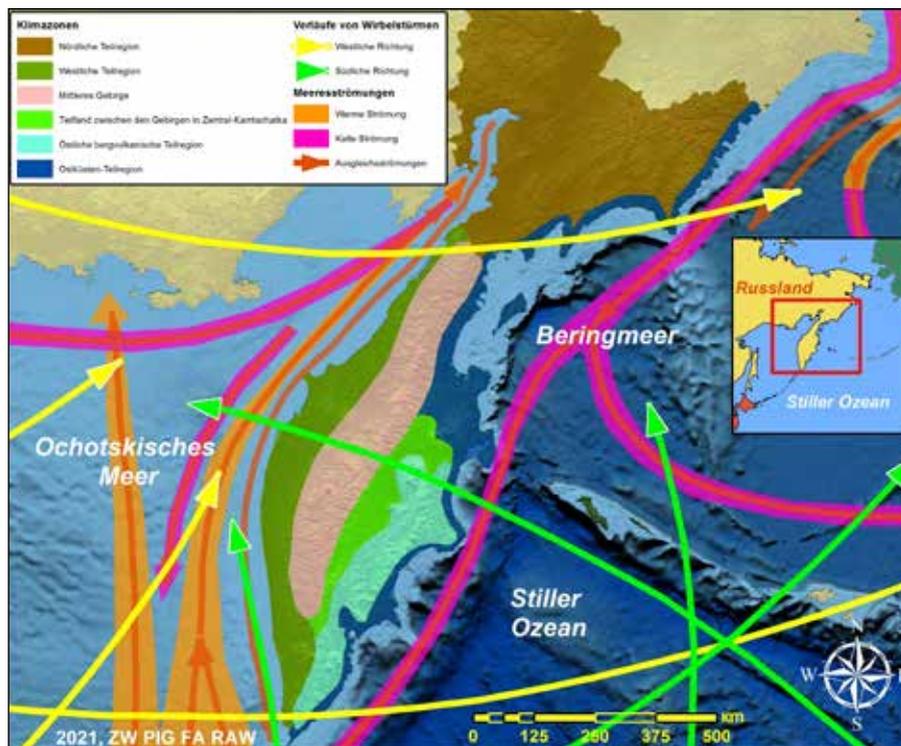


Abb. 3: Hauptklimafaktoren und Klimazonen der Region Kamtschatka

Die mittleren und östlichen Gebirgszüge, die sich in nordnordöstlicher Richtung erstrecken, sind natürliche Barrieren für Luftmassen und verursachen in den von ihnen begrenzten Gebieten besondere klimatische Eigenschaften.

Im Winter herrschen in den meisten Teilen des Gebietes kalte arktische Luft und gemäßigte Meeresluft vor. In den zentralen Teilen der Halbinsel Kamtschatka gehen diese Luftmassen in gemäßigte Kontinentalluft über. Häufige Luftmassenwechsel, aktive zyklonale Aktivität und der gleichzeitige Einfluss heterogener Luftmassen auf verschiedene Teile der Region bestimmen das heterogene und instabile Wetter im

Winter: Der Winter ist durch starke Druckabfälle, starke Winde, häufige und langanhaltende Schneestürme gekennzeichnet.

Während der Wärmeperiode herrscht in dem betreffenden Gebiet gemäßigte Meeresluft vor, die sich im Tal des Kamtschatka-Flusses in kontinentale gemäßigte Luft verwandelt. Dementsprechend ist die wärmere Periode durch stabileres und gleichmäßigeres Wetter gekennzeichnet.

In den zentralen Gebieten der Halbinsel Kamtschatka herrschen folgende Strahlungsbedingungen (*radiacionny režim*) des Wetters vor – klar, ruhig und kalt. Die Sommer in Küstennähe sind vergleichsweise kalt, bedeckt und mit häufigem und langanhaltendem Nieselregen und Nebel, während die Sommer im mittleren Teil der Halbinsel eher warm sind. Häufig treten auch Gewitter und Schauer auf.

Strahlungsbilanz

Die Strahlungsbilanz bestimmt die Größe und Vorzeichen des Wärmestroms in der Luft und am Boden sowie den Tagesverlauf von Verdunstung und Kondensation. Die Periode mit positiver Strahlungsbilanz in dem Gebiet dauert 6-7 Monate. Der Übergang der Strahlungsbilanz von negativ zu positiv findet Anfang April statt. Der Wechsel des Vorzeichens der Strahlungsbilanz im Herbst wird in der zweiten Oktoberhälfte beobachtet.

Im Allgemeinen führt der Mangel an Wärme in Verbindung mit hohen Niederschlägen zu übermäßiger Feuchtigkeit in Gebieten, in denen der Oberflächenabfluss schwierig ist, d. h. in Flachlandgebieten und flachen Regionen.

Temperaturregelung

Die Temperaturregelung wird bestimmt durch die Art der atmosphärischen Zirkulation, den Zu- und Abfluss der Sonnenstrahlung, die Nähe von Wasserbecken und das Gelände. Aufgrund des unterschiedlichen thermischen Einflusses des Ochotskischen Meeres und des Beringmeers sind die Temperaturen an der Ostküste während der kalten Jahreszeit wesentlich höher als an der Westküste. Mit zunehmender Entfernung von der Küste wird der Einfluss des Meeres schwächer. In allen Gebieten ist im Laufe des Winters eine Erwärmung festzustellen.

Am rauhesten ist das Klima im nordwestlichen Teil des Gebiets auf dem Festland. Die absolute Tiefsttemperatur fällt hier auf -64°C , so in der Siedlung Verchne-Penzino. Im Sommer sind die höchsten Temperaturen an der Küste und auf den Inseln im August und im mittleren Teil der Halbinsel im Juli zu verzeichnen. Die Dauer der Periode mit Temperaturen über 20°C reicht von 1–6 Tagen an der Westküste bis zu 35–55 Tagen im Kamtschatka-Tal.

Die positiven Tagesdurchschnittstemperaturen werden Ende April oder Anfang Mai erreicht und dauern 160–220 Tage an. Die durchschnittliche jährliche Lufttem-

peratur in der Region schwankt zwischen $-8,5^{\circ}\text{C}$ und 1°C . Frost ist in diesem Gebiet keine Seltenheit. An der Südostküste treten in der Regel Ende Mai keine Fröste mehr auf, an der Westküste Mitte Juni.

Niederschlag

Wie bereits erwähnt ist die atmosphärische Zirkulation der wichtigste klimabildende Prozess auf Kamtschatka. Die Niederschläge haben hier einen überwiegend frontalen Charakter. Die zyklonale Aktivität ist im Süden der Halbinsel ganzjährig am stärksten und nimmt nach Norden hin deutlich ab. Die Verteilung der Niederschläge über das Gebiet hängt von der Höhenlage des Geländes und der Entfernung von der Meeresküste ab. An Berghängen, die dem Meer zugewandt sind, sind die Niederschläge höher als an windabgewandten Hängen und in geschützten Flusstälern.

Die Niederschlagsmenge ist im Süden der Region am höchsten (1000–1600 mm) und im Hochland 3000–4000 mm (absolute Höhe über 1200 m). Von Süden nach Norden nimmt die jährliche Niederschlagsmenge von 1000–1500 mm auf 800–900 mm an der Ostküste und von 750–1000 mm auf 400–500 mm an der Westküste ab. Auch wird ihre Menge von der Küste bis ins Innere der Halbinsel weniger. Im Tal des Kamtschatka-Flusses beträgt der Jahresniederschlag 300–700 mm, im zentralen Teil des Flusses sinkt er auf 100 mm. An der Ostküste fallen wesentlich mehr Niederschläge als an der Westküste.

Während der Kälteperiode (November–April) fallen die größten Niederschlagsmengen (über 1000 mm) an den Südosthängen. An der gesamten Ostküste nimmt die Niederschlagsmenge während der Kältezeit von 800 mm im Süden auf 400 mm im Norden ab. In den Küstenebenen, die vor den feuchtigkeitsführenden Ostwinden geschützt sind, beträgt die Niederschlagsmenge mindestens 200–250 mm. An der Westküste nehmen die Niederschläge von Süden (500–600 mm) nach Norden (150 mm) ab.

In der warmen Periode (Mai bis Oktober) ist die Heterogenität der Niederschlagsverteilung im gesamten Gebiet zwar weiterhin vorhanden, aber wesentlich geringer. An der Ostküste schwankt die Niederschlagsmenge zwischen 700–800 mm im Süden und 300–400 mm im Norden. In den geschützten Küstenebenen sind es, wie in der kälteren Periode, weniger: 250–300 mm. An der Westküste beträgt die Niederschlagsmenge 400–500 mm und nimmt von Norden nach Süden zu. Die Niederschläge sind im zentralen Teil des Kamtschatka-Tals am geringsten (etwa 200 mm). Im äußersten Süden der Halbinsel fällt in warmen und kalten Perioden die gleiche Menge an Niederschlag.

Schneedecke

Das Klima der Region ist durch lange Winter und eine hohe Schneedecke gekennzeichnet. Der Winter dauert bis zu sieben Monaten. Der Zeitpunkt des Auftretens der Schneedecke schwankt von Jahr zu Jahr innerhalb von 15–20 Tagen und liegt in der Nähe des Zeitpunkts, an dem sich die Temperatur im Herbst gegen dem Nullpunkt bewegt. So kommt es in Jahren mit einem warmen Herbst im Norden Ende Oktober zu einer Schneedecke. In Jahren mit frühem Wintereinbruch erscheint die Schneedecke in der ersten Oktoberhälfte. Eine stabile Schneedecke bildet sich ein bis zwei Wochen nach dem ersten Schneefall. Die Verteilung der Schneedecke in dem Gebiet ist ungleichmäßig. In den offenen Gebieten ist sie 30–60 cm hoch, in den Bergregionen erheblich höher. Im Allgemeinen schwankt die Höhe der Schneedecke zwischen 26 und 113 cm. Die feste Schneedecke beginnt sich in der Region Ende April aufzulösen, was bis Ende Mai andauert. In kalten Jahren verschwindet sie vollständig erst in der ersten Junihälfte. An den Küsten ist die Schneedichte am höchsten, begünstigt durch Tauwetter und starke Winde. Die maximale Schneedichte schwankt zwischen 0,26 und 0,46 g/cm³. Die höchsten Wasserreserven im Schnee hängen von der Höhenlage eines Gebiets, seiner Beschaffenheit, der Oberflächenrauigkeit und der Abgelegenheit ab. Die maximalen Wasserreserven im Schnee liegen im Tal des Flusses Penžina zwischen 68 und 165 mm, an der Küste zwischen 123 und 406 mm.

Wind

Die Windverhältnisse in Kamtschatka werden durch eine extrem variable und sehr heterogene atmosphärische Zirkulation und durch das Gelände bestimmt. Somit ist es heterogen und variiert von Saison zu Saison und von Jahr zu Jahr. Die Windrichtung über dem gesamten betreffenden Gebiet unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen. Während der Kälteperiode herrschen im größten Teil des Gebiets Winde aus dem nördlichen Viertel vor, dagegen in der Wärmeperiode südliche Winde. Während der kalten Jahreszeit steht das nördliche Festland unter dem Einfluss des nordöstlich ausgerichteten Kolyma-Bergrückens. Die Isobaren verlaufen im Allgemeinen parallel zur Küste des Beringmeers. Die Luftdruck-Gradienten im Binnenland sind gering und nehmen in Richtung der Küste, die häufiger unter dem Einfluss der nördlichen Peripherie der in der Beringsee stationierten Wirbelstürme steht, stark zu. Es ist offensichtlich, dass hier nordöstliche Winde vorherrschen. Der Einfluss der Orographie wirkt sich auf die vorherrschende Windrichtung aus. In meridional ausgerichteten Tälern nimmt die Häufigkeit von Nord- und Nordwestwinden zu sowie in den nordöstlich ausgerichteten Tälern. An der korjakischen Küste herrschen nordöstliche Winde vor. Bei warmem Wetter ändert sich das thermobarische Feld vollständig, und die vorherrschenden Windrichtungen verlaufen in weiten Teilen des Gebiets anders. Im Sommer entwickelt sich hier eine relativ aktive zyklonale Aktivität, und es herr-

schen südwestliche und westliche Winde vor – Winde der südlichen Peripherie von flachen Tiefdruckgebieten thermischen Ursprungs, die sich hauptsächlich von West nach Ost verlagern. In den Übergangsjahreszeiten weist das Windregime die gleichen Merkmale auf wie in der vorangegangenen Saison. Die durchschnittliche jährliche Windgeschwindigkeit in dem Gebiet schwankt zwischen 1–2 m/s im Landesinneren, 5–7 m/s im Westen und 7–10 m/s im Osten. Die jährliche Windgeschwindigkeit variiert in den verschiedenen Teilen des Gebiets. Am deutlichsten kommt sie (mit einem Wintermaximum und einem Sommerminimum) an der Ostküste zum Ausdruck, wo der zirkulationsbedingte winterliche Anstieg der Geschwindigkeit ganz erheblich ist. In dem Gebiet zwischen den Buchten von Korff und Natal'ja wird die Zunahme der Windgeschwindigkeit im Winter durch lokale Faktoren in Verbindung mit der atmosphärischen Zirkulation verursacht, was zu lokalen Wind-Bora (böigen und kalten Fallwinden) führt. Im Hinterland sind die jährlichen Schwankungen der Windgeschwindigkeit nur schwach ausgeprägt. Die höchsten Windgeschwindigkeiten werden auf den östlichen Küstenvorsprüngen mit bis zu 40 m/s oder mehr und im Tal des Flusses Penžina mit bis zu 34 m/s beobachtet.

Im 20. Jahrhundert wurde umfangreiches und zuverlässiges hydrometeorologisches Material für das Gebiet der Region Kamtschatka gesammelt, aber es gab praktisch keine analytischen Arbeiten. Moderne Übersichten und Veröffentlichungen erschienen erst im 21. Jahrhundert (Materialy... 2005; Guza und Rankova 2012; Birman und Berežnaja 2014; Kokorin et al. 2013; Škaberda 2013; 2014 usw.). Aktuelle Trends des Klimawandels in Kamtschatka werden von O.A. Škaberda (2015) zusammengefasst, Klimarisiken werden im *Rosgidromet*-Bericht (2017) und im WWF-Bericht (Kamčatskij Kraj... 2020) dargestellt.

Saisonale mehrjährige Klimatrends

Oberflächenwind

Die Besonderheiten des Windregimes auf Kamtschatka werden durch die komplexe Zirkulation, das Geländere Relief, die lange Ausdehnung von Norden nach Süden und die Nähe großer Wasserflächen bestimmt (Abb. 3). Die höchsten durchschnittlichen jährlichen Windgeschwindigkeiten sind für den äußersten Süden der Halbinsel charakteristisch (9,2 m/s). An der Westküste der Halbinsel liegt die mittlere Jahresgeschwindigkeit zwischen 3 und 4,7 m/s, an der Ostküste zwischen 3,5 und 4,6 m/s und an der Nordküste bei 4,3 m/s (Abb. 4).

Die jahreszeitliche Verteilung der mittleren mehrjährigen Windgeschwindigkeiten stellt sich wie folgt dar: Im Norden, an der Ostküste und am Kap Lopatka sind die Geschwindigkeiten in der kalten Jahreszeit (von November bis März) am höchsten, ab April schwächt sich der Wind ab, und die niedrigsten Geschwindig-

keiten werden von Juni bis September gemessen. An der Westküste und im Tal des Kamtschatka-Flusses ist die jährliche Durchschnittsgeschwindigkeit gleichmäßig, mit Ausnahme eines leichten Anstiegs im Oktober-November und im April (Škaberda 2015).

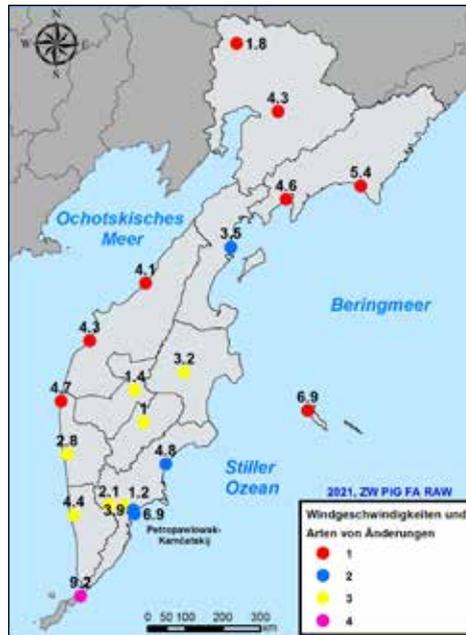


Abb. 4: Durchschnittliche Windgeschwindigkeiten und Arten von Änderungen der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit

In den letzten Jahrzehnten (1951–2011) wurde ein statistisch signifikanter negativer Trend bei den mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten auf der Halbinsel beobachtet, mit Ausnahme der Ostküste. Im mehrjährigen Verlauf der jährlichen Windgeschwindigkeiten auf der Halbinsel lassen sich vier Arten von Veränderungen der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit erkennen (Abb. 4) (Škaberda 2015):

Typ 1: Gekennzeichnet durch eine stetige Abnahme der mittleren dekadischen Geschwindigkeiten von 0,2–0,6 m/s von Jahrzehnt zu Jahrzehnt. Diese Veränderung ist charakteristisch für die gesamte Nordwestküste, den äußersten Nordosten der Halbinsel und die Beringinsel.

Typ 2: In den ersten 25 Jahren ist ein Rückgang der Durchschnittsgeschwindigkeit um 0,1–0,3 m/s zu verzeichnen, im nächsten Jahrzehnt (1991–2000) ein deutlicher Anstieg der Geschwindigkeit um 0,3–0,4 m/s und dann wieder ein Rückgang. Dieser Typ umfasst die Windgeschwindigkeitsdynamik an der Ostküste.

Typ 3: In den Jahren 1971–1980 gab es einen leichten Anstieg von 0,2 m/s, und danach ging er um 0,4–1 m/s zurück. Dieses Muster der Windgeschwindigkeits-

schwankungen ist im Südwesten und in den südlichen Binnengebieten der Halbinsel zu beobachten.

Typ 4: Die Geschwindigkeit nimmt in der zweiten Dekade um 1,3 m/s ab und steigt dann um 0,6 m/s. Und in den letzten 20 Jahren beträgt der Rückgang 1,8 m/s. Ein ähnliches Muster ist im äußersten Süden von Kamtschatka zu beobachten (Škaberda 2014; 2015).

Lufttemperatur (LT)

Seit 1976 betrug der Anstieg der durchschnittlichen Lufttemperatur in der Region etwa 1,5 °C, was dem Durchschnitt für Russland entspricht (Abb. 5). Eine Besonderheit der Halbinsel Kamtschatka ist ein gleichmäßiges Erwärmungsmuster, das sich über alle Jahreszeiten erstreckt. Anders sieht es im nördlichen Teil der Region aus, wo die Wintertemperaturen stark gesunken sind (um mehr als 2 °C). Dies ist ein Rekord der saisonalen Abkühlung für alle Regionen Russlands (Kokorin et al. 2013).

Aus den Beobachtungen der Wetterstation am Leuchtturm von Petropavlovsk (Abb. 5) geht hervor, dass der Anstieg der mittleren jährlichen Lufttemperatur signifikant ist, aber geringer als die Amplitude der zwischenjährlichen Schwankungen. Der durchschnittliche Lufttemperaturwert für 1961–1990 lag bei +1 °C, während er 2005–2010 im Durchschnitt bei +2 °C lag. Der lineare Trend für 1976–2010 beträgt 0,36 °C/10 Jahre.

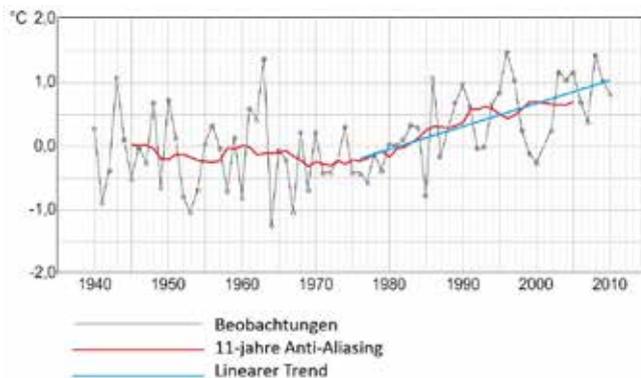


Abb. 5: Abweichung der Jahresmitteltemperatur am Leuchtturm Petropavlovsk gegenüber dem Durchschnitt von 1961–1990 (Quelle: G. V. Gruza, E. Y. Ran'kova, Institut Global'nogo klimata i ekologii, nach Kokorin 2013).

Betrachtet man die durchschnittliche Lufttemperatur nach Monaten im Allgemeinen für das Gebiet der Region Kamtschatka (Kokorin et al. 2013), so lassen sich eine Reihe von Mustern erkennen, die in der folgenden Tab. 1 dargestellt sind:

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wert	-5	0 - +1,5	+2 - +5	+1 - +4	-1	+1 - +1,5	+1,5 - +2	+1,5 - +2	+1,5 - +2	+1 - +4	+2 - +6	+1,5 - +3 -
Richtung			SE ► N	S ► N						S ► N	S ► N	NE ► SW

Tab.1: Entwicklung der monatlichen Durchschnittstemperaturen:
Linearer Trend (1976–2018) ($^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) multipliziert mit der Anzahl der Jahre.

Eine detailliertere Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Lufttemperatur auf Kamtschatka (Škaberda 2013; 2015) hat gezeigt, dass in den letzten 60 Jahren die durchschnittliche mehrjährige jährliche Lufttemperatur auf der Halbinsel mit Ausnahme der südöstlichen und südlichen Küste negativ ist. Die Dynamik der jährlichen Amplituden schwankt im Durchschnitt zwischen $-9,9^{\circ}\text{C}$ im Norden und $+1,6^{\circ}\text{C}$ im Süden (Abb. 6), mit einem negativen Trend (von 1°C im Norden bis $5,5^{\circ}\text{C}$ im Süden). An der West- und Nordostküste gingen die Amplituden um $3,5^{\circ}\text{C}$ zurück. Die Lufttemperaturwerte an der Südostküste sind mit Ausnahme von Juni-Juli höher als an der Südwestküste, insbesondere in den Wintermonaten (um $6-7,5^{\circ}\text{C}$). Der Ost-West-Unterschied verringerte sich um $0,9^{\circ}\text{C}$, was auf eine höhere Erwärmungsrate an der Westküste ($0,30^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) im Vergleich zur Ostküste ($0,14^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) zurückzuführen ist.

Die räumlichen und zeitlichen Muster der Veränderung der jährlichen Lufttemperatur (Abb. 6) sind wie folgt: Am wärmsten war es in den letzten 60 Jahren an der Westküste ($1,5^{\circ}\text{C}$), dann im Tal des Kamtschatka-Flusses ($1,4^{\circ}\text{C}$), in den Gebirgsregionen und im Süden sowie an der Ostküste ($1,2^{\circ}\text{C}$), und am wenigsten warm war es im äußersten Süden ($0,8^{\circ}\text{C}$) und Norden ($0,6^{\circ}\text{C}$).

Der meridionale Temperaturgradient liegt mit $0,5^{\circ}\text{C}$ pro 100 km deutlich unter dem Durchschnitt der nördlichen Hemisphäre. Dies ist auf den Einfluss der Meere zurückzuführen, die die thermischen Kontraste zwischen den südlichen und nördlichen Gebieten ausgleichen.

Die Steigerungsrate der Lufttemperatur in der warmen Jahreshälfte ist sehr gering – von $0,15$ bis $0,41^{\circ}\text{C}/10$ Jahre – und in der kalten Jahreshälfte doppelt so hoch – von $0,43$ bis $0,99^{\circ}\text{C}/10$ Jahre. Praktisch alle ermittelten linearen Trends sind statistisch signifikant, mit Ausnahme des Herbstes und des ersten Winterhalbjahres (in einigen Regionen der Halbinsel). Schematische Karten (Abb. 7) der Veränderung der Standardabweichung von den ersten dreißig Jahren (1951–1980) bis zu den zweiten (1981–2009) wurden erstellt und zeigen die Richtung der saisonalen Lufttemperatur-Variabilität. Die jährliche Lufttemperatur ist durch eine Abnahme der Streuung im südlichen Teil der Halbinsel und eine Zunahme im mittleren und nördlichen Teil gekennzeichnet. Eine signifikante Erwärmung in der zweiten Winterhälfte in Kamtschatka findet vor dem Hintergrund einer zwischenjährlichen „Stabilisierung“ der saisonalen Lufttemperatur statt, während im Sommer und Herbst unbedeutende Stei-

gerungsraten der Lufttemperatur zu verzeichnen sind – vor dem Hintergrund zunehmender Klimaextreme.

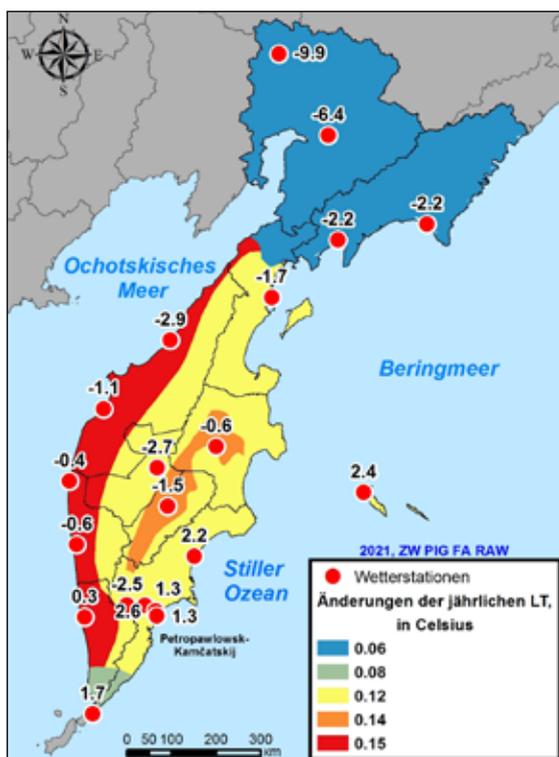
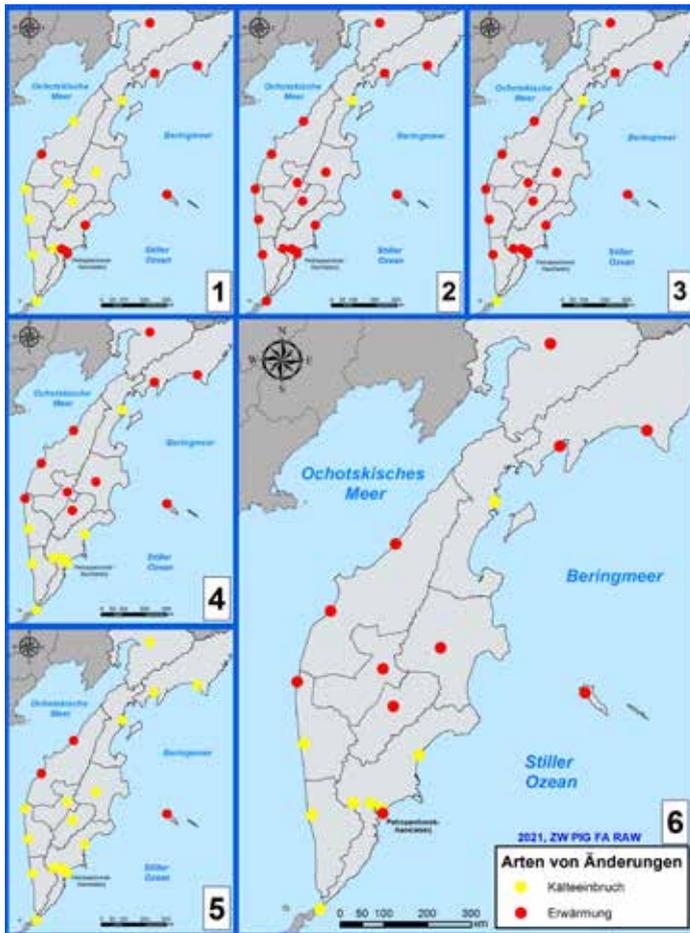


Abb. 6: Durchschnittliche jährliche Lufttemperatur- und Zoneneinteilung nach ihrer Veränderungsrate für das Gebiet der Region Kamtschatka.

Der Verlauf der jährlichen Lufttemperatur-Anomalien in Kamtschatka und in der gesamten Russischen Föderation ist synchron. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Häufigkeit positiver Anomalien auf dem russischen Territorium Mitte der 1970er Jahre und auf Kamtschatka Mitte der 1980er Jahre abnimmt. Vor dem Hintergrund der in der nördlichen Hemisphäre beobachteten globalen Erwärmung sind die Raten des Lufttemperatur-Anstiegs auf der gesamten Hemisphäre und in Kamtschatka in den wärmsten Monaten (Juli–September) ähnlich: Langsamere als durchschnittliche hemisphärische Anstiege im Dezember-Januar (die kälteste Zeit des Jahres) und stärkere im Februar–Juni und Oktober-November. Die höchste Steigerungsrate der Lufttemperatur auf Kamtschatka wird im März beobachtet, sie beträgt $0,57^{\circ}\text{C}/10$ Jahre, für die Hemisphäre ist die Rate zu dieser Zeit ebenfalls die höchste, allerdings ist sie im Vergleich zu Kamtschatka dreimal geringer. Die Anstiegsrate der mittleren

Jahrestemperatur in Kamtschatka ($0,235^{\circ}\text{C}/10$ Jahre) ist fast doppelt so hoch wie der hemisphärische Durchschnitt ($0,142^{\circ}\text{C}/10$) (Škaberda 2013; 2015).



- | | |
|----------------|-----------------------|
| 1 Frühling | 4 Erste Winterhälfte |
| 2 Sommer | 5 Zweite Winterhälfte |
| 3 Mitte Herbst | 6 Jahr |

Abb. 7: Veränderungen des Gefahrenkoeffizienten der saisonalen und jährlichen Lufttemperatur in den letzten 30 Jahren (1981–2009) im Vergleich zu den Vorjahren (1951–1980) (Quelle: Škaberda 2015).

Niederschlag

Wie bereits erwähnt, sind die Niederschläge mit zyklonalen Systemen verbunden (Abb. 3). Kamtschatka wird pro Jahr von etwa 100 Wirbelstürmen beeinflusst. Die Orographie des Untersuchungsgebiets spielt eine große Rolle bei der Niederschlagsverteilung. Diese Faktoren äußern sich in den Besonderheiten der räumlichen Verteilung des atmosphärischen Niederschlags. Nach Angaben der meteorologischen Station Petropavlovsk hat sich die jährliche Gesamtniederschlagsmenge in den letzten 35 Jahren nicht verändert und liegt weiterhin bei 75 mm/Monat (Abb. 8).

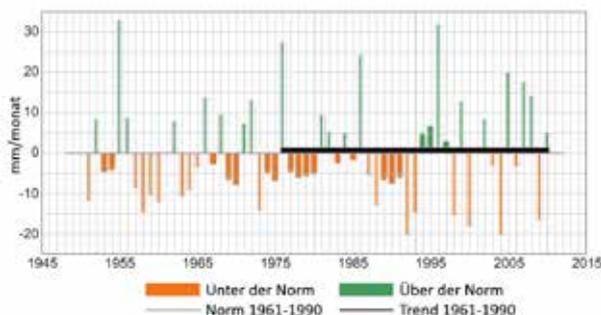


Abb. 8: Abweichung des Jahresniederschlags am Leuchtturm Petropavlovsk vom normalen Durchschnitt 1961–1990 (Quelle: G.V. Gruza, E.Y. Ran'kova, Institut Global'nogo klimata i ekologii, nach Kokorin et al. 2013).

Betrachtet man die Veränderungen des Jahresniederschlags auf Monats- und Gesamtbasis für das Gebiet Kamtschatka (Kokorin et al. 2013), so lassen sich eine Reihe von Mustern erkennen, die in der Tabelle 2 dargestellt sind.

Monat	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Wert	-15 – +15	-60	-60	-40	-60	-30 – 0	-20 – 0	0 – +40	-60	-60	0 – +60	0 – +60

Tab. 2: Entwicklung des Jahresniederschlags: Linearer Trend (1976–2018) (mm/10 Jahre) multipliziert mit der Anzahl der Jahre.

Detaillierteren Berechnungen (Škaberda 2014; 2015) für den Zeitraum 1956–2012 zufolge variiert der Jahresniederschlag zonal, d. h. er nimmt von Norden nach Süden zu, und azonal, d. h. er nimmt mit der Höhe zu. Im Norden der Halbinsel lag die klimatische Norm in den letzten 54 Jahren zwischen 300 und 530 mm. An der Westküste schwankt sie zwischen 550 und 850 mm, an der Ostküste zwischen 700 und 1200 mm. In den Gebirgsregionen liegt die „Norm“ bei etwa 900 mm (aber es gibt nur sehr wenige zuverlässige Daten aus diesen Gebieten), und im Tal des Kamtschatka-Flusses sind es über 400 mm, im äußersten Süden der Halbinsel über 1000 mm (Abb. 9).

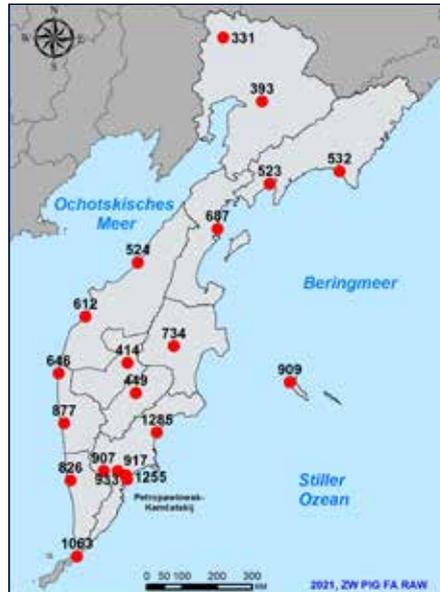


Abb. 9: Verteilung des durchschnittlichen Jahresniederschlags. Niederschlag (mm) für 1956–2012.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Analyse (Škaberda 2015) wurde eine Zonierung des Gebiets von Kamtschatka (mit Ausnahme der Bergregionen) auf der Grundlage der Ähnlichkeit des saisonalen Feuchtigkeitsregimes vorgenommen. Es wurden schematische Karten von Gebieten mit ähnlichen Zirkulationsbedingungen in warmen und kalten Halbjahres- und Jahreszeiten erstellt (Abb. 10). In diesen Gebieten gibt es gleichzeitig eine Homogenität des mehrjährigen Verlaufs der saisonalen Niederschläge. Im Kältesemester werden vier Gebiete und gesonderte Gebirgsregionen unterschieden: äußerster Süden; Westküste (ohne den nördlichen Teil); Osten, Südosten; Norden, Binnengebiete der Halbinsel (ohne Gebirgsregionen). In der warmen Jahreshälfte sind dies: Süden und Südosten; Nordwest- und Westküste; Nordostküste. Die abgegrenzten Gebiete fallen in den warmen und kalten Semestern nicht zusammen. Diese Bezirke haben eine sehr komplexe Struktur, und es ist nur möglich, für sie homogene Gebiete abzugrenzen, wobei ihre Grenzen für das Halbjahr unverändert bleiben. Das fünfte gebirgige Gebiet kann als ein Gebiet mit unbekannter Homogenität identifiziert werden.

Die größte Amplitude der jährlichen Schwankungen (80–100 mm) kennzeichnet das Niederschlagsregime an der Westküste und im Bergland, während die jährlichen Schwankungen an der Nord- und Nordostküste am geringsten sind (die Amplitude beträgt etwa 40 mm). Ein charakteristisches Merkmal für die gesamte Halbinsel ist das jährliche Niederschlagsminimum im April–Mai.

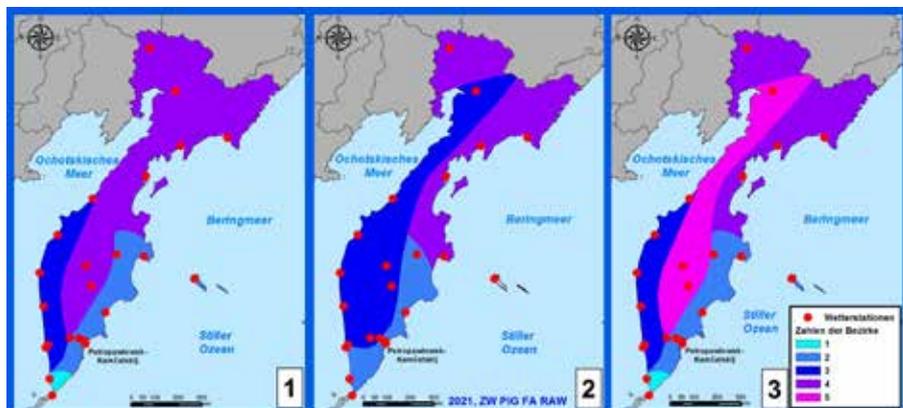


Abb. 10: Zonale Einteilung nach Ähnlichkeit der Zirkulationsbedingungen der Niederschläge für 1956–2012. (1) Kälteperiode; (2) Wärmeperiode; (3) Jahr.

Die Niederschläge sind in der warmen Jahreshälfte höher als in der kalten Jahreshälfte, außer im Süden und Südosten der Halbinsel, wo die Niederschläge in der kalten Jahreshälfte um das 1,2–2fache höher sind als in der warmen Jahreshälfte.

Die größte Häufigkeit von Sommertrockenheit ist für die südöstlichen Gebiete der Halbinsel charakteristisch. Im Frühsommer kommt es jedoch im mittleren Teil der Westküste häufiger zu atmosphärischen Trockenperioden. Übermäßig nasse Monate wie Juni und August sind im Nordosten Kamtschatkas häufiger anzutreffen. Im Sommer nimmt die Trockenheit an der West- und Ostküste sowie im Tal des Kamtschatka-Flusses stetig zu. Es werden Gebiete mit einer homogenen Verteilung der Niederschläge in warmen und kalten Halbjahren ermittelt. Lufttemperaturanomalien an der West- und Ostküste und im Tal des Kamtschatka-Flusses manifestieren sich nach 1–2 saisonalen Abschnitten in Niederschlagsanomalien.

Die Entwicklung der Jahresniederschläge auf der Halbinsel ist uneinheitlich: Im Norden, an der West- und Nordostküste und im Tal des Kamtschatka-Flusses ist ein Rückgang zu verzeichnen, der auf eine Ära überwiegend negativer Niederschlagsanomalien seit Anfang der 1980er Jahre zurückzuführen ist. An der Ostküste und in den Bergregionen ist dagegen ein leichter Anstieg der jährlichen Niederschläge festzustellen, da seit Mitte der 1990er Jahre positive Anomalien vorherrschen. Die größten kontinuierlichen Niederschlagsrückgänge in praktisch allen Gebieten der Halbinsel treten in der Vorwinterzeit auf. Sie sind auf eine längere Periode „trockener“ Vorwinterbedingungen im Nordosten und im Tal des Kamtschatka-Flusses von Mitte der 1970er Jahre bis Mitte der 2000er Jahre und im Westen der Halbinsel von Anfang der 1980er Jahre bis heute zurückzuführen. Im Herbst kam es mit Ausnahme der Nordostküste zu einer Zunahme der Niederschläge. Die festgestellten Muster der jährlichen Niederschlagsveränderungen stehen im Zusammenhang mit dem Zusam-

mentreffen von „trockenen“ und „feuchten“ Phasen in den interannualen Schwankungen der saisonalen Niederschläge. Kurzfristige Schwankungen von 2 bis 4 Jahren und mittelfristige Schwankungen von 6 bis 8 Jahren sind im gesamten Gebiet deutlich zu erkennen. Weniger signifikant sind die 11 bis 12- und 15-jährigen Schwankungen.

Prognosen

Bei der Bewertung des Klimawandels in Russland im 21. Jahrhundert unter Verwendung verschiedener Klimamodelle (<http://voeikovmgo.ru>) werden für das Gebiet der Region Kamtschatka die folgenden mittelfristigen Prognosen von Temperatur- und Niederschlagsänderungen erstellt (Materialy 2005; Doklad 2012; Kokorin et al. 2013).

Prognose der Temperaturänderung

Die aus den CMIP5-Modellen für den globalen Klimawandel abgeleitete Prognose der Temperaturveränderung besagt, dass in der Region Kamtschatka mit einem Anstieg der Temperaturen zu rechnen ist, der im Winter stärker ausfällt (Tab. 3). Der stärkste Anstieg der Wintertemperaturen wird für den Norden der Region vorhergesagt. Dies wird den derzeitigen Trend umkehren, dass die Winter im nördlichen Teil der Region in den letzten Jahrzehnten deutlich kälter geworden sind.

Mittlere Werte von 2011 – 2031 von dem mittleren Niveau der Jahre 1980–1999 in °C.				
Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr
+1 – +2	+0,5 – +1,5	+0,5 – +1,0	+0,5 – +1,0	+0,5 – +1,2

Tab. 3: Prognostizierte Einschätzung der Temperaturänderungen für die Region Kamtschatka.

Es ist auch zu erwarten, dass die Jahresdurchschnittstemperaturen in Petropavlovsk-Kamčatskij in 25 Jahren um etwa 2 °C (1 bis 3 °C) steigen werden. Dies ist mehr als die Prognosen der globalen Klimamodelle in Tabelle 3 zeigen. Ein solcher Anstieg wäre ein seltener Fall, in dem die Erwärmung die zwischenjährlichen Temperaturschwankungen übersteigt.

Die Regressionsprognose hingegen ergibt keinen Anstieg der maximalen Hitzetemperaturen für das Jahr. Hitzewellen in Kamtschatka sind unwahrscheinlich. Allerdings ist eine deutliche Veränderung der Mindesttemperaturen für das Jahr möglich. Nach der durchschnittlichen Vorhersage werden die Mindesttemperaturen nicht kälter als -15 °C werden, aber die Unsicherheit ist sehr groß – von keiner Veränderung (Frost um -20 °C) bis zu sehr schwachem Frost (-5 bis -10 °C). Das größere Problem in der Region werden wahrscheinlich nicht die extremen Temperaturen sein, sondern starke Niederschläge und Schneestürme.

Prognosen der Niederschlagsveränderungen

Die Prognosen der Niederschlagsveränderungen aus globalen Klimaänderungsmodellen (<http://voeikovmgo.ru>) deuten darauf hin, dass in der Region mit einer leichten Zunahme der Niederschläge zu rechnen ist, vor allem im Winter (Tab. 4). Im Norden der Region könnte der Anstieg bis Mitte des 21. Jahrhunderts 20 % des Durchschnittswerts von 1980–1999 betragen, während er in den zentralen und südlichen Teilen etwa 10 % betragen könnte (Kokorin et al. 2013).

Mittlere Werte von 2011–2031 von dem mittleren Niveau der Jahre 1980–1999 in %				
Winter	Frühjahr	Sommer	Herbst	Jahr
+5 – +15	+5 – +10	-5 – +10	0 – +10	0 – +10

Tab. 4: Prognostizierte Einschätzung der Niederschlagsänderungen für die Region Kamtschatka.

Permafrost

Die Bewertung der Ausdehnung des Permafrostes in der Region Kamtschatka basiert meist auf theoretischen Verallgemeinerungen und Analogien. Es gibt eine allgemein akzeptierte Schätzung, dass Permafrost im Nordosten Russlands in Breitengraden nördlich von 55–60 Grad vorkommt. Diese Ansichten spiegeln sich in der geokryologischen Karte der UdSSR (1996) wider, die bis heute die umfassendste Quelle für eine detaillierte, umfassende Charakterisierung der Permafrostbedingungen des russischen Territoriums ist (Abb. 11). Gleichzeitig stehen die Informationen auf der Karte nicht im Widerspruch zu den Daten meteorologischer Stationen, spiegeln aber aufgrund des Mangels an objektiven Daten auch nicht die vorhandenen natürlichen Bedingungen wider. Diese Daten wurden ab Ende 1999 mit dem Start der Wettersatelliten der MODIS-Reihe, die mit Sensoren zur Messung der Oberflächentemperatur der Erde ausgestattet sind, veröffentlicht. Bislang wurde umfangreiches Material gesammelt, das in der Folge mit Daten von meteorologischen Stationen kombiniert werden soll, um aktuelle Trends im Permafrost und seinem Zustand darzustellen (Abb. 11).

Beim Vergleich der erhaltenen Bilder wäre es verfrüht, Schlussfolgerungen über die Dynamik der Bodenoberflächentemperatur und der Permafrostdegradation zu ziehen. Dazu müssen zunächst alle relevanten Informationen (einschließlich der Permafrostverteilung und des Vegetationszustands) untersucht und ein Modell der Veränderungen erstellt werden, das alle erfassten Faktoren und beobachteten Phänomene berücksichtigt.

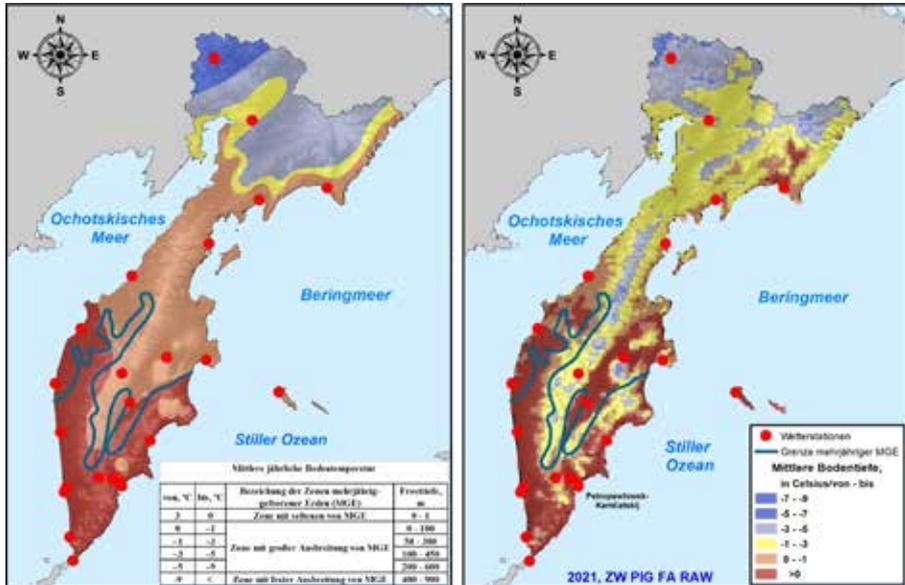


Abb. 11: Mittlere Langzeitwerte der Bodenoberflächentemperatur. Links: nach der geokryologischen Karte der UdSSR (1996), rechts: nach MODIS-Satellitenüberwachungsdaten (2000–2018).

Öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels

Im Jahr 2010 wurde in der Region Kamtschatka eine Umfrage durchgeführt und eine Übersicht über das traditionelle Wissen der indigenen Völker im Zusammenhang mit dem Klimawandel veröffentlicht, wobei auch die Auswirkungen des Klimawandels auf die traditionelle Nutzung der natürlichen Ressourcen durch die indigenen Völker im Norden Kamtschatkas eingeschätzt wurden. Eine Schlussfolgerung war die Bedeutung der Schaffung eines Beobachtungsnetzes im Hinblick auf den Klimawandel unter Beteiligung indigener Gemeinschaften (Šarachmatova 2011). Anhand dieser Arbeit wurde deutlich, mit welchen Hindernissen Forscher rechnen können, die die öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels untersuchen. So müssen bereits bei der Erstellung der Fragebögen die Fragen klar voneinander abgegrenzt werden, um zu verhindern, dass anstelle von Antworten auf Fragen zum Klimawandel möglicherweise solche gegeben werden, die sich eigentlich auf Fragen zu Veränderungen beziehen, die durch anthropogene Einflüsse verursacht wurden.

Eine in Jakutien durchgeführte Studie (Anisimova et al. 2017) kam zu dem Schluss, dass die öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels nicht immer objektiv ist und von vielen Faktoren abhängt. Zwar stellen die Befragten den objektiven Charakter des gegenwärtigen Klimawandels und seine beginnenden Auswirkungen auf bestimmte

Aktivitäten, Arbeits- und Freizeitbedingungen fest, aber es zeigt sich, dass sich nur ein Teil der beobachteten Veränderungen im öffentlichen Bewusstsein angemessen widerspiegelt. Die Kluft zwischen Beobachtungsdaten und kognitiven Indikatoren des Klimawandels erschwert die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen.

In der Region Kamtschatka, wo der Klimawandel nicht so ausgeprägt ist wie z.B. in Jakutien, ist es besonders schwierig, die öffentliche Wahrnehmung des Klimawandels und seiner Auswirkungen von derjenigen des anthropogenen Wandels zu trennen. Auf der Grundlage von Erfahrungen mit Erhebungen in der Region Kamtschatka entwickelten wir einen Fragebogen, der so weit wie möglich auf die Bewertung des Klimawandels ausgerichtet ist.



Abb. 12: Ossora. Innenhof des Heimatmuseums. Aleksej Pavlovič Appolon berichtet über den Bau eines Schlittens. Foto: Ol'ga Černjagina.

Im Sommer 2021 befragten wir Einwohner der Region Kamtschatka im Bezirk Ust'-Bolšereckij (im Ort Ozernovskij), im Bezirk Oljutorskij (in den Orten Pachači und Tiličiki) und im Bezirk Karaginskij (in den Orten Karaga, Tymlat und Ossora.) Aus den Interviews ging hervor, dass indigene und alteingesessene Bewohner der Region das Auftreten atypischer atmosphärischer Phänomene registrieren wie Nordlicht, Gewitter, den Zeitpunkt des Gefrierens der Flüsse und des Meeres, die Häufigkeit von Sommer- und Winterniederschlägen, den Zeitpunkt der Entstehung der Schneedecke und deren Tiefe, Winterstraßen, Stärke und Richtung der Winde während ver-

schiedener Jahreszeiten, Dauer der Jahreszeiten, Veränderungen in der Vegetation, Zeitpunkt der Beerenreife, Zeiten der Pilzsaison, Größe der gefangenen Meeresfische (Stint und Dorsch) sowie Daten der Fischwanderung zum Laichen. Über den Zustand des Permafrostes bzw. inwieweit dieser vorhanden ist gibt es so gut wie keine Berichte. Die Erinnerungen an den Zeitpunkt des ersten und des letzten Frostes sind sehr unterschiedlich, selbst in ein und demselben Dorf, ebenso wie Erinnerungen an den Zeitpunkt oder die Intensität von Naturereignissen oder an wirtschaftlich bedeutsame Folgen meteorologischer Phänomene. Und während einige Befragte selbstbewusst behaupten, dass sie den Klimawandel bemerken, meinen andere, dass es keine Veränderungen im Ökosystem gibt. Es liegen keine phänologischen Beobachtungen vor. Dennoch erhielten wir eine Vielzahl interessanter Hinweise, die später noch einmal umfassender dargestellt werden. Aber bereits in dieser Arbeit können wir eine Reihe von Beobachtungen zur Beschreibung des Ökosystemwandels anführen.

Leider wurde wertvolle Zeit nicht genutzt, denn als der Klimawandel gerade begann wurden Einheimische nicht rechtzeitig befragt. Den meisten der heute Befragten fehlt eine bewusste Wahrnehmung der Zeit vor den 1970er Jahren, als erste Anzeichen des Klimawandels deutlicher wurden. Nicht alle Indigenen und Alteingesessenen waren an unserer Arbeit interessiert und bereit, Fragen zu beantworten. Umso dankbarer sind wir denjenigen, die sich dazu entschieden haben, mit uns zu sprechen und deren Gespräche wir auf Video aufzeichnen konnten.

Umweltauswirkungen und Reaktionen des Ökosystems

Im Jahr 2013 wurde auf der Grundlage der WWF-Russland-Klimatrends (Kokorin et al. 2013) eine „Zusammenfassung der mit dem Klimawandel verbundenen Umweltphänomene, ihrer wahrscheinlichen Auswirkungen und der vorgeschlagenen Maßnahmen für die Region Kamtschatka“ erstellt. Es zeigte sich, dass in Kamtschatka, anders als in vielen anderen Regionen Russlands, bisher nur von potenziellen Gefahren des Klimawandels die Rede war, nicht aber von sichtbaren aktuellen Beeinträchtigungen. Die Untersuchung weist auf einen möglichen Temperaturanstieg in den Laichgewässern und im Beringmeer hin, der sich negativ auf Salmoniden auswirken könnte sowie auf eine mögliche Verlagerung der Winterweidegebiete der Rentiere in vulkanische Täler, da in den Küstentundren kaum noch Futter zur Verfügung steht. Hinweise gibt es auch auf eine Verschiebung der Ankunftszeiten vieler Vogelarten, frühere Nistzeiten, eine geringere Überlebensrate der Jungvögel, einen Rückgang der gesamten Zooplankton-Population im Beringmeer sowie auf eine Zunahme der Anzahl und der Stärke von Waldbränden.

In der Bewertung von 2020 (Kamchatka Krai 2020; WWF Experts 2020) stellen die WWF-Experten, wie schon sieben Jahre zuvor, keine signifikanten Reaktionen der Ökosysteme Kamtschatkas auf beobachtete klimatische Veränderungen fest. Die

wahrscheinlichsten Bedrohungen sind der Rückgang der Kronockij-Population wilder Rentiere, die geringere Überlebensrate von Zugvögeln und das Auftreten neuer Insektenarten (z.B. Malaria-Mücken) in Kamtschatka. Es werden auch positive Ausichten genannt: So ist es möglich, die Fangmengen in den an die Halbinsel angrenzenden Meeren um 5–15 % zu erhöhen, allerdings unter dem Vorbehalt, dass solche Schätzungen mit Vorsicht zu betrachten sind, da die im Ozean ablaufenden Prozesse noch nicht vollständig erforscht sind und noch einer eingehenden Analyse bedürfen. So sagen die Wissenschaftler beispielsweise eine Zunahme des Säuregehalts in der Oberflächenschicht des Ozeans voraus, wodurch sich die Temperatur erhöht und sich die Menge des gelösten Sauerstoffs verringert. Sergej Korostelev, der Koordinator des Programms für nachhaltige Meeresfischerei des WWF Russland, stellt jedoch im Jahr 2020 fest, dass „seit 2015 die Zahl der erwachsenen Pazifischen Pollackfische aus der Familie der Dorsche [*Theragra chalcogramma*] in der südlichen Čukčen-See gestiegen ist, was sehr wahrscheinlich mit der Erwärmung des Wassers zusammenhängt. Im Jahr 2020 legte das Gesamtrussische wissenschaftliche Forschungsinstitut für Fischwirtschaft und Ozeanografie (VNIRO) eine entsprechende Begründung für den Fang von mehr als hunderttausend Tonnen dieser Fische in Čukotka vor.

Ein weiteres typisches Beispiel für den Klimawandel ist die Population des Masu-Lachses [*Oncorhynchus masou*], der wärmeliebendsten Art des Pazifischen Lachses. Der Masu-Lachs ist auf Sachalin, den südlichen Kurilen, in Japan und im Küstengebiet im südlichen Fernen Osten Russlands (*Primor'è*) verbreitet, während er in den Flüssen Kamtschatkas nur selten vorkommt. Vor 2010 war die kommerzielle Nutzung dieser Lachsart in Kamtschatka nicht denkbar. In den letzten zehn Jahren ist deren tatsächlicher Fang jedoch von einigen hundert Kilogramm auf fast fünf Tonnen im Jahr 2019 gestiegen.

In der Region Kamtschatka sind die wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels, die mit einem Rückgang der Anzahl der für die wirtschaftliche Nutzung wichtigen Tiere einhergehen würden, noch nicht bekannt, und es gibt keine Studien, die ein solches Problem analysieren. Auf der internationalen Konferenz „Populationsdynamik, Bestandslage und künstliche Vermehrung des Pazifischen Lachses im Nordpazifik“, die am 19. Februar 2021 in Južno-Sachalinsk stattfand, wurde über ungerechtfertigte Fangprognosen und geringe Lachsbestände in der fernöstlichen Region während der Fangsaison 2020 diskutiert. In einer der Vorlagen wurde der Rückgang der Lachsfische auf die veränderten klimatischen Bedingungen im Pazifik zurückgeführt. Im darauffolgenden Jahr 2021, zu Beginn der Fangsaison, lag die prognostizierte Lachsfangmenge in Kamtschatka bei 359 Tausend Tonnen, die Anfang August auf 394,1 Tausend Tonnen erhöht wurde.¹ Diese Fangsaison war eine der erfolgreichsten in der Geschichte nicht nur Kamtschatkas, sondern des gesamten russischen Fernen

1 IA „Kam 24“ <https://kam24.ru/news/main/20210802/83127.html#.vPuBh9of.dpuf>. (Zugriff am 5.12.2021).

Ostens. Auf dem internationalen Seminar „Pazifischer Lachs in einer Welt menschlicher Interaktionen: wirtschaftlich, sozial, ökologisch, historisch, ethnisch und kulturell“ in Petropavlovsk-Kamčatskij im Jahr 2019 wurde der Klimawandel nicht als Bedrohung für die pazifischen Lachspopulationen in Kamtschatka genannt.

Experten bringen auch den Zustand der Jagdwildbestände nicht mit dem Klimawandel in Verbindung und nennen die Entwicklung der Bergbauindustrie und den möglichen Beginn der Ölförderung sowie den Bau von Wasserkraftwerken als aktuelle und künftige Bedrohungen für die Jagdwirtschaft in der Kamtschatka-Region (Krivenko et al. 2019).

Phänologische Beobachtungen sind der beste Indikator für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Tier- und Pflanzenwelt. In der Region Kamtschatka werden phänologische Beobachtungen in drei besonders geschützten Gebieten durchgeführt: im Staatlichen Naturreservat Korjakschij, im Staatlichen Biosphärenreservat Kronockij und im Staatlichen Biosphärenreservat Komandorskij namens S.V. Marakov. Auf der Grundlage langfristiger Beobachtungsreihen gewonnene Ergebnisse sind in einem „Naturkalender“ dargestellt, doch diese Materialien wurden bislang nicht zusammengefasst und veröffentlicht.

Ein Indikator für die Dynamik eines Ökosystems ist das Auftreten neuer Pflanzen- und Tierarten. Das Auftauchen neuer Arten kann beabsichtigt oder zufällig sein, wobei eine Reihe von Faktoren zum Erfolg der Ansiedlung von neuen Arten in einem Gebiet beitragen kann, unter denen das Klima einer der wichtigsten ist. In den letzten Jahren gab es auf der Halbinsel Kamtschatka zahlreiche Veröffentlichungen über das Auftreten neuer Tier- und Pflanzenarten in terrestrischen, Süßwasser- und Meeresökosystemen. Veröffentlichte Daten und neuere Erkenntnisse aus der Feldsaison 2021 werden im Folgenden zusammengefasst.

Terrestrische Ökosysteme

Säugetiere

Es gibt 54 Arten und Unterarten von Landsäugetieren, die in der Region Kamtschatka leben (Katalog ... 2000). Drei Arten – Hausmaus sowie graue und schwarze Ratte – sind synanthrop bzw. sie haben sich an menschliche Siedlungsbereiche angepasst und kamen bereits im 18. und 19. Jahrhundert mit dem Beginn eines regelmäßigen Schiffsverkehrs nach Kamtschatka, wo sie sich in den besiedelten Gebieten der Region niedergelassen hatten. Die Bisamratte [*Ondatra zibethicus*] wurde in den Jahren 1928 bis 1959 eingeführt und hat sich seitdem erfolgreich auf der Halbinsel ausgebreitet, wogegen sie in den nördlichen Gebieten des Festlands bislang noch nicht nachgewiesen wurde. Der Amerikanische Nerz [*Mistela vison*] wurde in Pelztierfarmen gezüchtet und gezielt in großen Flusseinzugsgebieten freigelassen. Eingeführte und

aus Farmen entkommene Tiere haben sich erfolgreich an die Wildnis angepasst und sind zu Vorfahren lebensfähiger Populationen in der gesamten Region Kamtschatka (einschließlich der Beringinsel) geworden. Die Einführung des Kanadischen Bibers [*Castor canadensis*] im Tal des Kamtschatka-Flusses und im Bystrinskij-Bezirk (1979) war nicht erfolgreich, und in den letzten Jahren wurden keine Vorkommen mehr gemeldet.

Die Landtierfauna der Halbinsel Kamtschatka wird aufgrund der wiederholten Abtrennung der Halbinsel vom Festland während der marinen Transgression und der derzeitigen relativen geografischen Isolation als inselartig angesehen. Die Halbinsel ist vom Festland durch die mehr als 300 km breite baumlose und sumpfige Fläche der Parapolskij-Ebene getrennt, die für viele Landtiere eine physische Barriere darstellt. Sibirischer Luchs [*Linx linx*] und das Eichhörnchen [*Sciurus vulgaris*] begannen sich erst im 20. Jahrhundert anzusiedeln und besetzen derzeit für sie geeignete Lebensräume auf der gesamten Halbinsel, und auch das Streifenhörnchen [*Tamias sibiricus*] ist auf dem Vordringen und wird im Nordwesten der Halbinsel regelmäßig angetroffen. Diese erfolgreichen Wanderungen begannen bereits vor dem Klimawandel, wobei die jeweiligen Arten nach und nach geeignete Lebensräume in zuvor unzugänglichen Gebieten besetzten. Einige Exemplare des Kolyma-Elchs [*Alces alces*] haben die Parapolskij-Ebene überquert und wurden mehrmals in den nördlichen Teilen der Halbinsel beobachtet, aber erst nachdem mehrere Paare mit dem Hubschrauber in das Tal des Kamtschatka-Flusses gebracht wurden, begann die Art aktiv neue Lebensräume zu erschließen, da es keine natürlichen Feinde für sie gibt und sie dort geeignete unbesetzte Futterhabitate in zahlreicher Menge vorfinden. Elche gibt es jetzt nicht nur in Zentralkamtschatka, sondern auch an der Küste, wobei dies nicht im Zusammenhang mit dem Klimawandel steht.

Vögel

Nach Ansicht von Ornithologen ist die heutige Vogelfauna Kamtschatkas historisch gesehen jung und entwickelt sich aktiv. Die ornithologischen Komplexe der Region befinden sich noch im Aufbau (Lobkov 2003). In einer neueren Arbeit über das Schicksal der jüngsten Vogelpopulationen (Lobkov 2016) stellt der Autor fest, dass Prozesse der Transmigration und Kolonisierung durch Vögel auf der Halbinsel Kamtschatka in den letzten Jahren weiter fortgeschritten sind. Es gibt die vorsichtige Vermutung, dass dies eine weitere Folge der globalen Veränderungen klimatischer Bedingungen sein könnte. Die biogeografischen Besonderheiten Kamtschatkas erklären sich aus seiner fast insularen geografischen Lage im Nordpazifik, die sich durch eine hohe Dynamik der natürlichen Bedingungen auszeichnet, insbesondere durch eine aktive zyklonale Aktivität, die zu einer zufälligen Ankunft der Vögel auf der Halbinsel beitragen kann. Es wird gezeigt, dass in den letzten 30 Jahren (von 1970 bis 1999) vier bis fünf Zugvogelarten zum ersten Mal auf Kamtschatka gebrütet haben, während in

den folgenden nur 16 Jahren – im Zeitraum von 2000 bis 2015 – fünf neue Arten zum ersten Mal auf der Halbinsel brüteten, und zwar Schwanzmöwe [*Larus crassirostris*], Orientturteltaube [*Streptopelia orientalis*], Star [*Sturnus vulgaris*], Spiegelrotschwanz [*Phoenicurus aureoreus*], Rotkopfdrossel [*Turdus chrysolaus*], Wacholderdrossel [*Turdus pilaris*], Japanmeise [*Parus minor*], Fichtenkreuzschnabel [*Loxia curvirostra*], Feldsperling [*Passer montanus*] und Haussperling [*Passer domesticus*].

Acht Arten aus dieser Liste sind auf Kamtschatka durch natürliche Besiedlung entstanden. Die beiden letztgenannten Arten sind das Ergebnis zufälliger (Feldsperling) und absichtlicher Einführung (Haussperling) wie auch die zuvor (in den 1930er Jahren) eingeführte Sibirische Taube. Diese Arten sind biotopisch mit menschlichen Siedlungen verbunden und weiten ihr Verbreitungsgebiet erfolgreich aus. Es gibt nicht viele Beispiele für die Einführung von Wildvögeln, die darauf abzielen, lokale Populationen in natürlichen Lebensräumen zu bilden, und bisher blieben sie erfolglos. So scheiterte beispielsweise der Versuch, Birkhühner [*Lyrurus tetrix*] und Haselhühner [*Tetrastes bonasia*] in den Jahren 1974–1981 in den Wäldern Kamtschatkas künstlich einzuführen (Lobkov 2016).

Gliederfüßer

Es wird in üblicherweise angenommen, dass die Erwärmung des Wetters das Spektrum der von Insekten und Zecken übertragenen Infektionen vergrößert. Malaria-mücken, wie vom WWF vorausgesagt, wurden in der Region Kamtschatka noch nicht festgestellt, aber das Auftreten von Schild-Zecken, den potenziellen Überträgern von so gefährlichen Krankheiten wie Enzephalitis und Borreliose, ist häufiger. Schild-Zecken [*Ixodoidea*] sind in der Natur in allen Gebieten weit verbreitet, und zuverlässige Aufzeichnungen über ihr Vorkommen in Kamtschatka sind seit den 1970er Jahren bekannt. In den letzten Jahren hat die Zahl der Menschen zugenommen, die wegen eines Zeckenbisses ärztliche Hilfe in Anspruch nahmen. Jedes Jahr veröffentlicht die Staatliche Abteilung *Rospotrebnadzor* der Region Kamtschatka Aufzeichnungen über die Inanspruchnahme medizinischer Präventiveinrichtungen wegen Zeckenbisse. Fachleute berichten von einer Zunahme von Zeckenangriffen.

Im Jahr 2016 suchten 26 Menschen in Krankenhäusern medizinische Hilfe, 2017 waren es 95, 2018 38 und 2019 waren es 41. Nach offiziellen Angaben wurden die Einwohner von Petropavlovsk-Kamčatskij, Viljučinskij und von fünf weiteren Verwaltungsbezirken der Region von Schild-Zecken gebissen, so im Bystrinskij-, Mil'kovskij, Elizovskij, Sobolevskij und Tigil'skij-Gebiet. Im Jahr 2021 wurden die Einwohner des Ortes Tiličiki im Oljutorskij-Bezirk befragt. Von dort erhielten wir die Information, dass ein Einwohner des Dorfes an einem Zeckenbiss gelitten hatte. Im Jahr 2020 wurde erstmals die DNA von Borreliose- und Ehrlichiose-Erregern gleichzeitig bei einer von sechs Zecken vom Zentrum für Hygiene und Epidemiologie bei Menschen nachgewiesen, die von ihnen in der Region Kamtschatka gebissen worden waren. Es

wurden jedoch keine Fälle von Infektionserkrankungen nach Zeckenbissen festgestellt.

Eine katastrophale Vermehrung von Schadinsekten wurde nicht festgestellt. Die Ahornschmierlaus [*Phenacoccus aceris*], die 1992 mit Pflanzmaterial von roten Johannisbeeren nach Kamtschatka eingeführt wurde, breitet sich jedoch erfolgreich aus (Lobkova und Grinkova 2013). Sie befällt Obstpflanzen aus der Familie der *Rosaceae*, rote und schwarze Johannisbeeren in Obstgärten und in städtischen Anlagen. Es wurde ihre Vorliebe für Sibirische Blaubeersträucher [*Lonicera edulis*] in der Tundra und für Weißdorn [*Crataegus chlorosarca*] in Wäldern festgestellt. Diese Art wurde im Elisovskij-Bezirk, in Dörfern im Tal des Kamtschatka-Flusses und im Bystrinskij-Bezirk nachgewiesen. Unbeständiges Wetter und Temperaturschwankungen während der für die Fortpflanzung dieser Art wichtigen Zeiträume haben die Schädlingspopulation erheblich reduziert und ihre Ausbreitung gestoppt.

Mollusken

In vielen Regionen der Welt dringt eine Reihe von Landschneckenarten immer weiter in neue, früher untypische Gebiete vor. Drei einheimische Schneckenarten [*Deroceras laeve* (Müller, 1774)], [*D. agreste* (Linnaeus, 1758)] und [*D. altaicum* (Simroth, 1886)] waren auf der Halbinsel Kamtschatka bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts bekannt (Sysoev und Schileyko 2009). Im August und September 2018 fanden wir die Genetzte Ackerschnecke [*Deroceras reticulatum* (Müller, 1774)], die neu auf der Halbinsel Kamtschatka ist, im Dorf Ezzo und im südlichen Teil von Petropavlovsk-Kamčatskij. Bereits im Juni 2017 wurde eine weitere eingeführte Art [*Arion subfuscus* (Draparnaud, 1805)] in Petropavlovsk-Kamčatskij in der Nähe des Kultučnoe-Sees gefunden. Dies ist der erste Fund der braunen Schnecke in den nördlichen Regionen des russischen Fernen Ostens (Prozorova und Černjagina 2017; 2018). In den letzten Jahren wurde die Schnecke wiederholt sowohl in Petropavlovsk-Kamčatski als auch in anderen Siedlungen des Elisovskij-Bezirks festgestellt, und im Jahr 2021 wurde sie laut einer Umfrage unter den Anwohnern im Süden der Halbinsel, im Dorf Saporošje (Ust'-Bolšereckij-Bezirk), nachgewiesen. Beide Arten, die Braune Schnecke und die Genetzte Ackerschnecke, sind landwirtschaftliche Schädlinge, die unter den Bedingungen Kamtschatkas erhebliche Schäden an Kulturpflanzen sowohl im Freiland als auch in Gewächshäusern verursachen können. Die Ausbreitung der Art über die gesamte Halbinsel ist durch die klimatischen Bedingungen begrenzt, aber in den Küstengebieten ist damit zu rechnen, dass sie sich weiterverbreitet und in Naturlebensräume eindringt.

Vegetation

Wie bereits erwähnt, blieb eine große Anzahl phänologischer Beobachtungen der Pflanzenwelt in den Reservaten der Region Kamtschatka bislang unbearbeitet. Im

Jahr 2013 haben wir phänologische Beobachtungen in Petropavlovsk-Kamčatskij durchgeführt und den Beginn und die Dauer der klimatischen Jahreszeiten gemäß den Angaben der dortigen Wetterstation bestimmt. Im Jahr 2013 dauerte die Vegetationsperiode 180 Tage. Davon entfielen 52 Tage auf den Frühling, 98 Tage auf den Sommer und 30 Tage auf den Herbst. Vergleicht man die Daten für das Jahr 2013 mit den Daten für den Zeitraum von 1890 bis 1960, so wird deutlich, dass die Dauer des klimatischen Frühlings und des klimatischen Herbstes deutlich abgenommen hat (Abb. 13). Die Veränderung der Länge der Jahreszeiten und der Vegetationsperiode ist einer der Indikatoren für den Klimawandel.

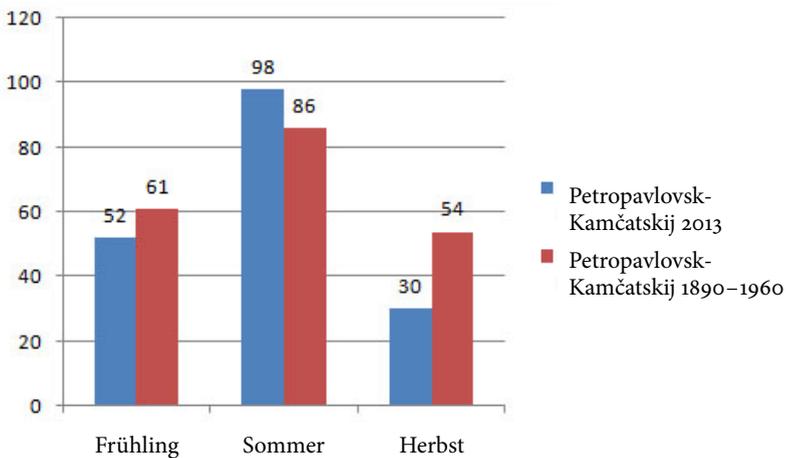


Abb. 13: Dauer der klimatischen Jahreszeiten in Petropavlovsk-Kamčatskij.

Direkte Beobachtungen der gegenwärtigen Vegetationsdynamik in der Region Kamtschatka sind spärlich, fragmentarisch und unstrukturiert. Das vorgeschlagene konzeptionelle Modell der Reaktion der Vegetation auf den Klimawandel in Nord-urasien (Žilčova und Anisimov 2015) deutet darauf hin, dass, bevor die Klimaauswirkungen ein kritisches Niveau erreichen, die Reaktion in einer Zunahme der Biomasse und der photosynthetischen Aktivität der Vegetation zum Ausdruck kommt, während die Integrität der Zusammensetzung des Bioms und des Verbreitungsgebiets noch erhalten bleibt. Die Autoren stellen fest, dass die derzeit beobachtete Zunahme der photosynthetischen Aktivität nicht so sehr mit der Einführung neuer Arten zusammenhängt, sondern vielmehr mit einer Zunahme der Größe, der projizierten Ausbreitung und der Erschließung neuer Lebensräume durch einheimische Pflanzenarten. Als Ergebnis der klimabedingten Dynamik der natürlichen Zonengrenzen in der Arktis werden weniger produktive Biome durch produktivere ersetzt.

Umfragen unter den Bewohnern der Region Kamtschatka haben gezeigt, dass dieser Trend für alle Gebiete gilt, sowohl auf der Halbinsel als auch auf dem nördlichen Festland. In den nördlichen Gebieten ist eine Strauchtundra mit Grünerle [*Alnus fruticosa*] und Zwerg-Kiefer [*Pinus pumila*] weit verbreitet sowie die Ausdehnung von Gebieten mit innerzonaler Wiesenvegetation auf Kosten von angrenzenden Tundraflächen. Im Süden der Halbinsel ist die Strauchtundra auf Landzungen von Gras überwuchert, und die Produktivität von Beerenpflanzen ist geringer. Straßen, Brände, Steinbrüche und andere Flächen mit zerstörter einheimischer Vegetation sind mit Wiesengräsern, Erlen- und Zwergkiefergebüsch überwachsen; im Norden bilden sich Bestände der Japanischen Weißbirke [*Betula platyphylla*] und auf der Halbinsel der Erman-Birke [*Betula ermanii*]. Die Bildung von Birkenbeständen wird durch eine in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegene Samenproduktivität begünstigt, wenn die Birken blühen und sehr fruchtbar sind.

Das Monitoring der Einführung neuer Pflanzenarten in das Gebiet ist ein wichtiger Teil der Untersuchung der Vegetationsdynamik. Im Jahr 2004 waren für die Flora der Halbinsel Kamtschatka 183 Adventivarten bekannt (Jakubov und Černjagina 2004), im Jahr 2018 werden bereits 262 Arten für das gesamte Gebiet Kamtschatka genannt (Černjagina und Devjatova 2018). Diese Zahl steigt jedes Jahr, sowohl hinsichtlich der Einführung neuer Arten als auch durch die Arbeit in bislang unerforschten Gebieten.

Die Naturalisierung nicht einheimischer Arten wird durch die derzeitige Klimaerwärmung sowie durch zunehmende wirtschaftliche Beziehungen und touristische Aktivitäten begünstigt, was zu einer verstärkten Einfuhr von Diaspora-Arten führt, von denen sich einige an die komplexen ökologischen Bedingungen der nördlichen Ökosysteme anpassen können. Eine Reihe von Arten beginnen in natürliche Pflanzenbestände einzudringen und erhalten den Status einer invasiven Art. Der invasive Teil der Kamtschatka-Flora umfasst 71 Pflanzenarten, die zu 63 Gattungen aus 17 Familien gehören. Die Familien *Asteraceae* (18 Arten), *Fabaceae* (6 Arten), *Brassicaceae* (8 Arten) und *Poaceae* (11 Arten) sind am reichhaltigsten an invasiven Arten (Vinogradova et al. 2020). Die meisten dieser Arten dringen gerade erst auf die Halbinsel vor, ihre Populationen sind klein und nicht in der Lage, die Struktur natürlicher Gemeinschaften zu verändern. Allerdings sind bekannte gefährliche invasive Arten wie *Acer negundo*, *Heracleum sosnowskyi*, *Impatiens glandulifera*, *Lupinus polyphyllus* und *Symphytum caucasicum* bereits aufgetreten und haben sich angepasst (Abramova et al. 2017). In der Regel sind diese Arten nicht in Kulturen und überwiegend im südlichen Teil der Kamtschatka-Halbinsel verbreitet. Wir beobachten jedoch eine dynamische Ausbreitung dieser Arten, z.B. erfassten wir 2021 *Impatiens glandulifera* auf Brachflächen im Dorf Tymlat, während die Art 2015 nur in Anpflanzungen wuchs und wir nicht annahmen, dass eine natürliche Samenregeneration dieser südlichen Art auf der nördlichen Halbinsel Kamtschatka möglich ist (Abb. 14).



Abb. 14: Die invasive Art *Impatiens glandulifera* auf einem Brachland im Dorf Tymlat. September 2021. Foto: Olga Černjagina.

Süßwasser-Ökosysteme

Die Veränderungen der Süßwasserökosysteme in der Arktis werden in der aktuellen Literatur ausdrücklich mit dem Klimawandel in Verbindung gebracht. Es wurden große Anstrengungen unternommen, um Informationen über diese Veränderungen zu sammeln, und es gibt eine Vielzahl von Arbeiten über das Wissen der Einheimischen über die Süßwasserökologie in einem sich verändernden Klima. Die Region Kamtschatka ist Teil der untersuchten Region (Knopp et al. 2020). Die Autoren der Studie konnten jedoch keine Informationen über derartige Veränderungen in der Region Kamtschatka finden. Alles was wir hierzu wissen, stammt sowohl aus veröffentlichten Informationen als auch aus Expeditionen im Jahr 2021.

In einer kürzlich erschienenen Veröffentlichung fasste A.M.Tokranov (2021) die Informationen über das Auftreten und die heutige Verbreitung von drei neuen Arten von Hydrobionten in Gewässern der Halbinsel Kamtschatka zusammen, dem Sibirischen Rochenfisch [*Barbatula toni*], Seefrosch [*Pelophylax ridibundus*] und Grasfrosch [*Rana temporaria*]. Der Autor stellt fest, dass das Auftauchen gebietsfremder Vertreter der Ichthyofauna auf der Halbinsel auf eine absichtliche Einführung zu Beginn des letzten Jahrhunderts zurückzuführen ist und nicht mit dem Klimawandel zusammenhängt. Seit 1930 wurde mehrmals der Goldfisch [*Carassias auratus*] in Gewässern Kamtschatkas eingeführt, in der Zeit von 1955 bis 1970 der Amurkarpfen [*Cyprinus rubrofascus*] und in den Jahren 1958–1960 wurde versucht, in Kamtschatka den Sterlet [*Acipenser ruthenus marsiglia*] heimisch zu machen. Karauschen

und Karpfen haben sich in Gewässern des Kamtschatka-Flussbeckens erfolgreich vermehrt und sind zu kommerziell nutzbaren Arten geworden. Der Sterlet hat sich jedoch nicht durchgesetzt.

Auch Nicht-Nutzarten wurden direkt oder ungewollt nach Kamtschatka eingeschleppt. Die Sibirische Steinschmerle wurde erstmals Ende des letzten Jahrhunderts im Kamtschatka-Fluss in der Nähe des Dorfes Kljutschki entdeckt und wahrscheinlich im Zuge der Akklimatisierung des Amurkarpfen eingeführt. Die Art hat sich erfolgreich im Einzugsgebiet des Kamtschatka-Flusses verbreitet (Tokranov 2001). Der Seefrosch ist das Ergebnis einer absichtlichen Einführung. Die Tiere wurden mehrfach von Naturfreunden in Gewässern mit thermischen Zuflüssen und am Warmwasser-auslass des Kraftwerks in Petropavlovsk-Kamčatskij ausgesetzt. Erste Informationen, dass sich der Seefrosch erfolgreich auf Kamtschatka angesiedelt hat, erschienen in den 1990er Jahren. Gegenwärtig gibt es den Seefrosch mit Hilfe des Menschen weiterhin in der Nähe der heißen Quellen in Kamtschatka. Dort sind die Frösche sogar im Winter aktiv und brüten das ganze Jahr über (Šejko und Nikanorov 2000; Buchalova und Veligura 2007; Ljapkov 2014 usw.). Der Grasfrosch tauchte 2005 auf der Halbinsel auf, als 150 unreife Exemplare aus der Moskauer Region nach Kamtschatka, zu den heißen Golygina-Quellen gebracht wurden. Im Jahr 2015 betrug die Zahl der weiblichen Grasfrösche allein im Mittellauf des Flusses Golygina über 2600 Exemplare (Ljapkov 2016).

Wir haben uns mit der absichtlichen Einführung neuer Arten in die Süßwasserreservoirs von Kamtschatka befasst. Es gibt keine Hinweise auf negative Auswirkungen der Populationen dieser Arten auf natürliche Ökosysteme. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass das derzeitige Gleichgewicht durch den vorhergesagten Anstieg der Süßwassertemperaturen gestört wird. Erste Daten über die Ausbreitung von Fröschen außerhalb der spezifischen Lebensräume, in denen diese Arten in Kamtschatka eingebürgert wurden, sind erschienen. So registrierten Beobachter nicht zum ersten Mal Seefrösche im Dorf Mil'kovo im Tal des Kamtschatka-Flusses.² Hier gibt es keine heißen Quellen, und im Winter fallen die Temperaturen unter 40°C. Wir können jedoch nicht ausschließen, dass jemand jährlich Frösche aus dem Dorf Esso oder von den heißen Malkinskij-Quellen mitbringt, wo diese Art häufig und reichlich vorkommt. Im Jahr 2021 beobachteten wir kleine Frösche (optisch als *Rana temporaria* identifiziert)³ in der Nähe der heißen Uksičan-Quellen bei Esso und in einer kalten Quelle des Ozernaja-Flusses in der Nähe von Ozernovskij im südlichen Kamtschatka, wo uns von Einheimischen berichtet wurde, dass man dort Froschlaute vernommen hätte. Solche Informationen sind noch weiter zu bekräftigen.

Es ist bekannt, dass zwei Arten von Hydrobionten, der Süßwasserschwamm [*Spongilla lacensis*] und die Alge [*Aegagropila linnea*], deren Verbreitung auf der Halbinsel bisher nur aus der Mitte des letzten Jahrhunderts bekannt war, sich heute unabhängig

2 <https://www.inaturalist.org/observations/91834295>. Zugriff am 5.12.2021.

3 <https://www.inaturalist.org/observations/83774167>. Zugriff am 5.12.2021

voneinander in den Gewässern der Halbinsel ausbreiten, wo sie stellenweise reichlich vorhanden sind und eine bedeutende Biomasse bilden.

Die ersten neueren Funde von zwei Süßwasserschwammarten [*Spongilla muelleri* *Ephydatia muelleri* (Lieberkühn, 1885)] und [*Spongilla lacustris* (Linnaeus, 1759)] wurden 2009 im Nalyčevo-See (Naturpark Nalyčevskij in Südost-Kamtschatka) gemacht. Im Jahr 2018 wurden beide Arten in das Rote Buch der Region Kamtschatka aufgenommen (Krasnaja kniga [1] 2018). Im Jahr 2021 fanden wir den Schwamm [*Spongilla lacustris*] in sumpfigen Seen im Tal des Asača-Flusses (Naturpark Süd-Kamtschatka) und im Norden der Halbinsel, im Bezirk Karaginskij. Im Ossorsko-See in der Nähe der Siedlung Ossora traten die Schwämme häufig auf und erreichten eine Größe von 10 cm, verunreinigt durch alte Töpfe und in den See geworfene Drähte. Darüber hinaus wurden 2021 in einem der Tundra-Seen in der Nähe der Siedlung Tylmat Schwämme gefunden (Abb. 15, 16).



Abb. 15: Seeschwamm im Ossorsko-See. Foto: Ol'ga Černjagina.

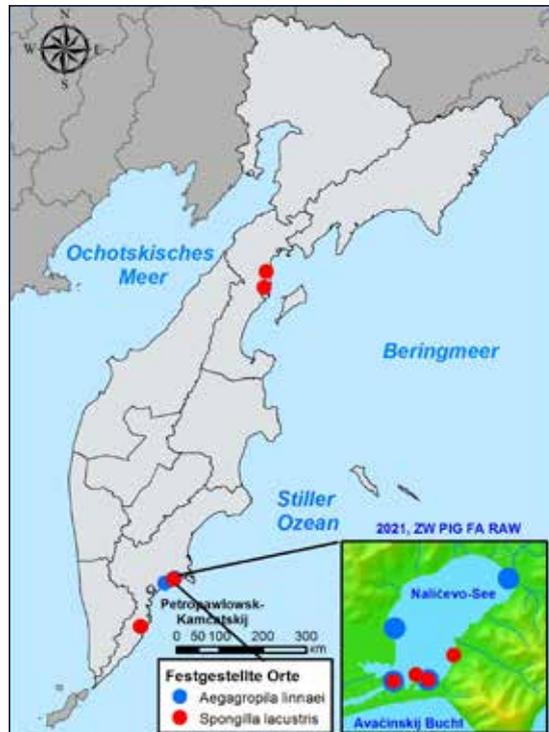


Abb. 16: Verbreitung der Süßwasserschwammarten auf der Halbinsel Kamtschatka.

Wir führen die Schwammfunde des Jahres 2021 eindeutig auf den außergewöhnlich warmen Sommer dieses Jahres zurück. So erreichte die Temperatur im Ossorsko-See Anfang September 16,5 °C, was für dieses nördliche Gebiet ungewöhnlich ist. Unter normalen Bedingungen sind Süßwasserschwämme kaum sichtbare Organismen, die

kleine Matten auf der Unterseite von Steinen oder Teppiche auf dem Boden bilden, wo es viel gelöstes organisches Material gibt. Möglicherweise hat der warme Sommer dazu geführt, dass die Menge an Bakterioplankton und anderen organischen Stoffen in den Seen zugenommen hat, so dass die Schwämme ihre Biomasse vergrößern konnten und so leichter nachzuweisen waren. Vielleicht sollten Schwämme als Indikatoren für die Erwärmung in Süßwasserreservoirs in Kamtschatka betrachtet werden.

Die zweite Art ist eine Grünalge aus der Familie der *Cladophoraceae*, [*Aegagropila linnaei*, *Aegagropila linnaei* Kütz (*Cladophora aegagropila* (L.) Trevis] deren Verbreitungsgebiet fast die gesamte nördliche Hemisphäre umfasst. In Kamtschatka ist diese Alge nur aus dem Kotel'no-See und dem Nalyčevo-See an der südöstlichen Küste der Halbinsel Kamtschatka zuverlässig bekannt (Romanov et al. 2017), (Abb. 15). Die Art ist im Roten Buch der Region Kamtschatka aufgeführt (Krasnaja kniga [2] 2018). Im kalten Teil des Nalyčevo-Sees, in der Nähe der Mündung des Pereval'no-Baches, bildet *Aegagropila* kugelförmige Soden mit einem Durchmesser von 1–1,3 cm (Abb. 17), während im südöstlichen Teil des Sees, wo sich das Wasser auf 18°C erwärmt, die Soden aufbrechen und über große Flächen 50–200 cm tiefe Klumpen bilden (Abb. 18).

In den flachen Gewässern im südlichen Teil des Sees verdrängen *Aegagropila*-Ansammlungen die Gemeinschaften von *Isoëtes maritima* Underv., Haifischalgen, Schwämmen und anderen Wasserorganismen, die hier zuvor beobachtet worden waren (Černjagina und Nenaševa 2020). Eine Zunahme der Ausdehnung und die Durchsetzungskraft der *Aegagropila*-Ansammlungen im Nalyčevo-See erfordert besondere Aufmerksamkeit, da sie sich negativ auf die Wasserqualität des Sees auswirken und die Laichgründe des Rot-Lachses [*Oncorhynchus nerka*] in den Küstengebieten des Sees beeinträchtigen können.

Es ist nicht gesichert bekannt, wie *Aegagropila linnaei* in den Nalyčevo-See gelangt ist – wir haben die Alge dort erst 2017 vorgefunden. Die Analyse des Fotomaterials hat gezeigt, dass es 2009 noch keine Ansammlungen von *Aegagropila linnaei* entlang der Seeufer im südöstlichen Teil gab, wo sie erst 2011 festgestellt wurden. Diese rasche Ausbreitung der Art, die mit der Anhäufung beträchtlicher Biomasse und der Verdrängung von Küstengemeinschaften einhergeht, lässt uns *Aegagropila linnaei* als invasive Art betrachten. Eine weitere Ausbreitung von *Aegagropila* in den Süßwasserreservoirs von Kamtschatka (was wahrscheinlich ist, weil der See als Zufluchtsort für Zugvögel dient) unter den Bedingungen steigender Sommertemperaturen in den Süßwasserreservoirs kann eine Bedrohung für die Süßwasserökosysteme der Halbinsel darstellen.

Die Anwohner im Norden der Region haben ebenfalls sichtbare Veränderungen in den Süßwasserökosystemen festgestellt. Im Dorf Tiličiki im Oljutorskij-Bezirk wurde uns berichtet, dass weiße Seerosen in den umliegenden Seen immer häufiger und in großer Anzahl vorkommen. Noch in den 1970er Jahren wurden bei botanischen Expeditionen, die die Flora des Gebiets eingehend untersuchten, keine weißen



Seerosen vorgefunden (Oprede-litel'.. 1981). Die Zwerg-Seerose [*Nymphaea tetragona*] ist im Roten Buch der Region Kamtschatka (Krasnaja kniga 2018) vermerkt.

Abb. 17: Ansammlungen von kugelförmiger *Aegagropila linnaei* im nördlichen Teil des Nalyčevo-Sees, auf dem Grund an der Mündung des (Kaltwasser-) Pereval'no-Baches. Foto: Ol'ga Černjagina.



Abb. 18: *Aegagropila linnaei*-Ansammlungen im südöstlichen Teil des Nalyčevo-Sees.

Fazit

Die in Kamtschatka festgestellten Trends im Temperaturregime und in anderen Klimaindikatoren belegen die Existenz des Klimawandels. Der ungewöhnlich warme und trockene Sommer 2021 bestätigt die Erwärmungstendenzen. Aber oft sind die sichtbaren Veränderungen multidirektional und, wie einer unserer Gesprächspartner, ein Bewohner des Dorfes Tymlat, sagte: „Es gibt jetzt eine solche Instabilität, als ob etwas in der Natur ändern würde“. Ein gut vorbereitetes Monitoring würde dazu

beitragen, dass eine rechtzeitige Registrierung solcher Veränderungen nicht verpasst wird, und es würde bei der Vorbereitung und Anpassung an diese Veränderungen helfen. Kamtschatka gehört zu den Regionen, in denen der Klimawandel noch keine offensichtlichen Reaktionen in den Ökosystemen und keine Veränderungen in ihrer Produktivität und Nachhaltigkeit verursacht hat. Auch wenn diese Veränderungen noch unterschwellig sind, müssen dennoch jetzt Überwachungssysteme eingeführt werden, die die einheimische und lokale Bevölkerung sowie *Citizen-Science*-Instrumente (wie die iNaturalist-Plattform und das Phänologie-Netzwerk der Russischen Geografischen Gesellschaft, z. B. das Schneepatrouillen-Projekt) einbeziehen. Mit dem weiteren Ausbau von Hochgeschwindigkeits-Internet wird in den nördlichen Regionen bald eine Beteiligung der Einheimischen und der lokalen Bevölkerung an solchen Projekten möglich sein, welches in den südlichen und zentralen Regionen bereits verfügbar ist. Gut organisierte Schulungsworkshops werden dazu beitragen, die Einwohner Kamtschatkas zur Teilnahme an diesen Projekten zu motivieren und die lokalen und wissenschaftlichen Gemeinschaften in ihren Bemühungen zur Überwachung des Klimawandels zusammenzubringen.

Literatur

- Abramova L. M., Chernyagina O. A., Devyatova E. A. 2017. Invasive Species in Kamchatka: Distribution and Communities. *Botanica Pacifica* 6(1):13–21.
- Agalakov V. S. 1967. Charakteristika atmosferynych processov nad akvatorijami Dal'nevostočnyh morej i prilegajuščimi k nim rajonami Aziatskogo materika. *Voprosy geografii kamčatki* 5: 95–102.
- 1973. *Kamčatka – kraj ciklonov*. Moskva: Znanie.
- Anisimov O. A., Žil'cova E. L., Žegusov Ju. I. 2017. Obščestvennoe vosprijatie izmenenija klimata v choldnyh regionach Rossii: primer Jakutii. *Lěd i Sneg* 57(4): 565–574.
- Birman B. A., und Berežnaja T. V. 2014. *Osnovnye pogodno-klimatičeskie osobennosti Severnogo polušarija Zemli. Za period s 2001 g. Analitičeskij obzor*. Gidrometcentr Rossii. <http://www.meteorf.ru/upload/iblock/7b6/Birman-klimat-2014.pdf>. (Zugriff am 5.12.2021).
- Buchalova R. V., und Veligura E. M. 2007. Ljaguška ozernaja [Rana ridibunda (Pallas, 1771)] v Paratunskoj doline (jugo-vostočnaja Kamčatka). *Sochranenie bioraznoobrazija Kamčatki i prilegajuščich morej: Doklady VII meždunarodnoj naučnoj konferencii*: 51–58. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Černjagina O. A., und Devyatova E. A. 2018. Adventivnye rastenija Kamčatskogo kraja: rasprostranenie i raznoobrazie. *Doklady XVII-XVIII meždunarodnyh naučnyh konferencij*: 256–261. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Černjagina O. A., und Nenaševa E. M. 2020. Ozero Nalyčevo (Vostočnaja Kamčatka).

- Monitoring ob'ekta osoboj ochrany v prirodnom parke «Nalyčevo». *Sochranenie bioraznoobrazija Kamčatki i privilegijuščich morej: Materialy XXI meždunarodnoj naučnoj konferencii*: 279–282. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Doklad o klimatičeskich riskach na territorii Rossijskoj Federacii* 2017. Sankt-Peterburg: Rosgidromet.
- Doklad ob osobennostjach klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2011 god* 2012. Moskva: Rosgidromet.
- Ėksperty WWF Rossii predstavili analiz vozmožnyh izmenenij klimata Kamčatki v XXI veke. 15 oktjabrja 2020. <https://wwf.ru/resources/news/klimat-i-energetika/eksperty-wwf-rossii-predstavili/>. (Zugriff am 1.11.2021).
- Geokriologičeskaja karta SSSR masštaba 1:2500000* 1996. Kondrat'eva K. A., Afanasenko, V. E., Gavrilov A. V., Dunaeva E. N., Zamolotčikova S. A., Truš N. I., Lisicyna O. M., Trofimov V. T. i dr. Moskva: MGU.
- Gruza G. V., und Ran'kova Ė. Ja. 2012. *Nabljudaebye i ožidaemye izmenenija klimata Rossii: temperatura vozducha*. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MCD».
- Jakubov V. V., und Černjagina O. A. 2004. *Katalog flory Kamčatki (sosudistyje rastenija)*. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Kamčatskij kraj: trendy za poslednie desjatiletija*. Julija Kaliničeva/WWF Rossii 2020. <https://wwf.ru/upload/documents/Kamchatka.pdf> (Zugriff am 1.10.2021).
- Katalog pozvonočnyh Kamčatki i sopredel'nyh morskich akvatorij*. 2000. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatskij pečatnyj dvor.
- Knopp, J. A., Levenstein, B., Watson, A., Ivanova, I., Lento, J. 2020. Systematic Review of Documented Indigenous Knowledge of Freshwater Biodiversity in the Circumpolar Arctic. *Freshwater Biology* 00:1–16. <https://doi.org/10.1111/fwb.13570>
- Kokorin A. O., Smirnova E. V., Zamolodčikov D. G. 2013. *Izmenenie klimata. Kniga dlja učitelej staršich klassov obščeeobrazovatel'nyh učreždenij. Regiony Dal'nego Vostoka*. Moskva.: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF).
- Kondratjuk V. I. 1974. *Klimat Kamčatki*. Moskva.: Moskovskoe otdelenie gidrometeorizdata.
- Krasnaja kniga Kamčatskogo kraja. T. 1. Životnye*. 2018. A. M. Tokranov (otv. red.). Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Krasnaja kniga Kamčatskogo kraja. T. 2. Rastenija*. 2018. O. A. Černjagina (otv. red.). Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Krivenko V. G., Valencev A. S., Gerasimov Ju. N., Kiričenko V. E., Kuznecov A. V., Slodkevič V. Ja., Tkačenko E. Ė. 2019. *Ochotnič'i životnye Kamčatskogo kraja: sosťojanie resursov, ochrana i racional'noe ispol'zovanie*. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Ljapkov S. M. 2014. Ozernaja ljažuška [Pelophylax ridibundus] v termal'nych vodoe-mach Kamčatki. *Zoologičeskij žurnal* 93 (12): 1427–1432.
- 2016. Travjanaja ljažuška [Rana temporaria] na Kamčatke: formirovanie pervoj populjacii. *Sovremennaja gerpetologija* 16(3/4): 123–128.

- Lobkov E. G. 2003. *Pticy Kamčatki (geografija, ekologija, strategija ochrany)*. Avto-ref. dis. dokt. biol. nauk. Moskva.
- 2016. Pticy – nedavnie vselency na Kamčatku: sud'ba populjacij. *Russkij ornitologičeskij žurnal* 25 (Ėkspress-vypusk 1272):1281–1294.
- Lobkova L. E., und Grin'kova A. S. 2013. Klenovij mučnistyj červec [Phenacoccus aceris] vozrastajuščaja ugroza drevlesno-kustarnikovoj rastitel'nosti Kamčatki. *Sochranenie bioraznoobrazija Kamčatki i prilegajuščich morej: Doklady XIX meždunarodnoj naučnoj konferencii*: 235–240. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Materialy k strategičeskomu prognozu izmenenij klimata Rossijskoj Federacii na period do 2010–2015 gg. i ich vlijanija na otrasli ekonomiki Rossii* 2005. Moskva: Rosgidromet.
- Meteorologičeskie uslovija nad Tichim okeanom* 1966. Samojlenko V. S. (otv. red.) Moskva: Nauka.
- Opredelitel' sosudistych rastenij Kamčatskoj oblasti* 1981. S. S. Harkevič (otv. red.). Moskva: Nauka.
- Prozorova L. A., und Černjagina O. A. 2017. Rasprostranenie zanosnogo sliznja *Arion subfuscus* (Draparnaud, 1805) na vostoce Azii ot Kamčatki do Kitaja. *Bjulleten' DVMO* (21):192–196.
- 2018. Obnaruženie na poluostrove Kamčatka zanosnogo sliznja *Deroceras reticulatum* (Müller, 1774). *Sochranenie bioraznoobrazija Kamčatki i prilegajuščich morej: Materialy XIX meždunarodnoj naučnoj konferencii*:206–208. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Rjabušinskih 1916. – VIII. Kamčat. Ėkspedicija Fedora Pavloviča Rjabušinskogo, snarjaž. pri sodejstvii Imp. Rus. geogr. o-va. Meteorol. otd.
- Romanov R. E., Černjagina O. A., Čemeris E. V. 2017. *Aegagropila linnei* i *Chara braunii* – presnovodnye vodorosli rekomendovannye k vneseniju v Krasnuju knigu Kamčatskogo kraja. *Sochranenie bioraznoobrazija Kamčatki i prilegajuščich morej: Materialy XVIII meždunarodnoj naučnoj konferencii*:147–150. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Šarachmatova. V. N. 2011. *Nabljudenija korennych narodov severa Kamčatki za izmenenijami klimata*. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Šejko B. A., und Nikanorov A. P. 2000. Klass Amphibia – Zemnovodnye. Klass Reptilia – Presmykajuščiesja. *Katalog pozvonočnyh životnyh Kamčatki i sopredel'nyh morskich akvatorij*: 70–72. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatskij pečatnyj dvor.
- Škaberda O. A., und Vasilevskaja L. N. 2013. Ocenka izmenenij temperatury vozducha na Kamčatke za poslednie 60 let. *Vestnik DVO RAN* 3: 69–77.
- Škaberda O. A., Vasilevskaja L. N., Kovbasjuk V. V. 2014. Režim i dinamika atmosfernyh osadkov na Kamčatke vo vtoroj polovine XX – načale XI veka. *Estestvennye i tehničeskie nauki* 4.
- Škaberda O. A. 2015. *Sovremennye tendencii izmenenija klimata Kamčatki*. Avtoreferat dissertacii na soiskanie učenog stepeni kandidata geografičeskich nauk. Kazan'.

- Sljunin N. V. 1900. *Ochotsko-Kamčatskij kraj: Estestvenno-istoričeskoe opisanie*. T. 1–2. Sankt Peterburg: izd. Ministerstva finansov.
- Sysoev A. V., and Schileyko A. A. 2009. Land Snails and Slugs of Russia and Adjacent Countries. Sofia/Moscow: Pensoft.
- Tichookeanskij losos' v mire čelovečeskich vzaimootnošenij: ekonomičeskich, social'nych, ekologičeskich, istoričeskich, étničeskich i kul'turnych* 2019. Tezisy dokladov meždunarodnogo naučno-praktičeskogo seminaru. Petropavlovsk-Kamčatskij: Kamčatpress.
- Tokranov A. M. 2001. Nachoždenie sibirskogo usatogo goľca [Barbatula toni (Balitoridae)] na Kamčatke. *Voprosy ichtiologii* 41(2): 268–269.
- 2021. Pojavlenie i rasprostranenie novych vidov gidrobiontov v vodoëmach Kamčatki v konce XX – načale XXI vekov. *Čtenija pamjati Vladimira Jakovleviča Levanidova* Vyp. 9: 186–192.
- Vinogradov V. N., Murav'ev Ja. D., Kondratjuk V. I. 1990. Klimat Petropavlovsk-Kamčatskogo v XIX–XX stoletijach. *Voprosy geografii Kamčatki* 10: 10–17.
- Vinogradova Y. K., Aistova T. V., Antonova L. A., Chernyagina O. A., Chubar E. A., Darman G. F., Devyatova E. A., Khoreva M. G., Kotenko O. V., Marchuk T. A., Nikolin E. G., Prokopenko S. V., Rubtsova T. A., Sheiko V. V., Kudryavtseva E. P., Krestov P. V. 2020. Invasive Plants in Flora of the Russian Far East: the Checklist and Comments. *Botanica Pacifica* 9(1): 103–129.
- Vlasov V. A. 1916. *O klimate Kamčatki. 2. Temperatura vod*. Moskva: Tip. t-va.
- Žil'čova E. L., und Anisimov O. A. 2015. Dinamika rastitel'nosti Severnoj Evrazii: analiz sovremennyh nabljudenij i prognoz na 21. *Arktika. XXI vek. Estestvennye nauki* 2: 48–59.

