



УДК 502/504:551.583

DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-4-412-424

ФОРМИРОВАНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ОБЛАСТИ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**FORMATION OF GEOECOLOGICAL CONDITIONS OF THE COASTAL MARINE REGION OF THE WESTERN YAMAL UNDER CLIMATE CHANGE****Р.С. Широков**
R.S. ShirokovГосударственный университет по землеустройству,
Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15State University of Land Use Planning,
15 Kazakova St, Moscow, 105064, Russia

E-mail: shirocov@gmail.com

Аннотация

Результаты длительного мониторинга и криолитозоны однозначно демонстрируют деградацию мерзлых пород, как в континентальных, так и в субаквальных условиях западного сектора Российской Арктики. Прибрежно-морская область Западного Ямала – наиболее показательная и уязвимая территория при климатических изменениях. Оценка изменений геоэкологических условий в Арктике при потеплении климата и промышленном освоении в последние десятилетия выдвинулась в ряд приоритетных проблем. На фоне наблюдаемой динамики климата изучение геоэкологических процессов становится особенно актуальным при составлении перспективных планов развития климатозависимых отраслей хозяйственной деятельности. Изменение климатических условий влияет на социально-экономическую деятельность регионов, условия проживания людей и здоровье населения. Также приводит к изменениям в природной среде и отражается на видовом составе флоры и фауны, уровне рек, погодных условиях, сезонной ритмике, таянии многолетнемерзлых пород, распространении ареалов природно-очаговых заболеваний и т.д. влечет за собой создание пожароопасной обстановки, провоцирует экологические катастрофы.

Abstract

The coastal-marine region of Western Yamal is the most model and vulnerable area under climatic changes. Against the background of the observed climate dynamics, the study of geocological processes becomes especially relevant when drawing up long-term plans for the development of climate-dependent branches of economic activity. Changes in climatic conditions affecting permafrost, sea hydrology, as well as the potential increase in negative anthropogenic pressures associated with growth, oil and gas production in the Arctic and the development of related infrastructure, sharply increase the level of geocological risks. Climate warming and changing environmental conditions are changing the geo-ecological and land-use conditions. Climate change: affects the socio-economic activity of the regions, living conditions of people and public health; leads to changes in the natural environment and is reflected in the species composition of flora and fauna, river levels, weather conditions, seasonal rhythm, thawing of permafrost, the distribution of areas of natural focal diseases, etc.; may entail the creation of a fire hazard, the possibility of environmental disasters. Estimated climate change can have both positive and negative impacts.

Ключевые слова: геоэкология, деградация криолитозоны, изменение климата, термическое состояние мерзлоты, природопользование, Западный Ямал.

Keywords: geocology, cryolithozone degradation, climate change, thermal state of permafrost, nature management, West Yamal.

Введение

Оценка изменений геоэкологических условий в Арктике при потеплении климата и промышленном освоении в последние десятилетия выдвинулась в ряд приоритетных проблем. Изменения климатических условий, влияющих на многолетнемерзлые породы, гидрологию моря, а также потенциальное увеличение негативной антропогенной нагрузки, связанной с ростом добычи нефти и газа в Арктике и развитием сопутствующей инфраструктуры, резко повышают уровень геоэкологических рисков. Потепление климата и изменение природной обстановки меняют геоэкологические условия и условия землепользования.

Комплекс исследований, включающих климатические, морские, гидрологические наблюдения, изучение морфологии и ландшафтной структуры, динамики мерзлоты и неблагоприятных криогенных процессов, проводится на западном побережье Ямала в районе полярной станции Марре-Сале (рис. 1). Территория была выбрана в качестве модельной, поскольку здесь присутствуют и проявляются все особенности природной обстановки. В районе Марре-Сале представлены основные морфологические уровни: третья морская терраса, низкие и высокие речные поймы, современные низкие аккумулятивные образования (морские лайды). Территория относится к типичным тундрам с полным набором характерных растительных сообществ. Повсеместно распространены сплошные многолетнемерзлые породы. Характерными особенностями землепользования являются сочетание на одной территории традиционного образа жизни коренных народов и промышленного нефтегазового освоения.

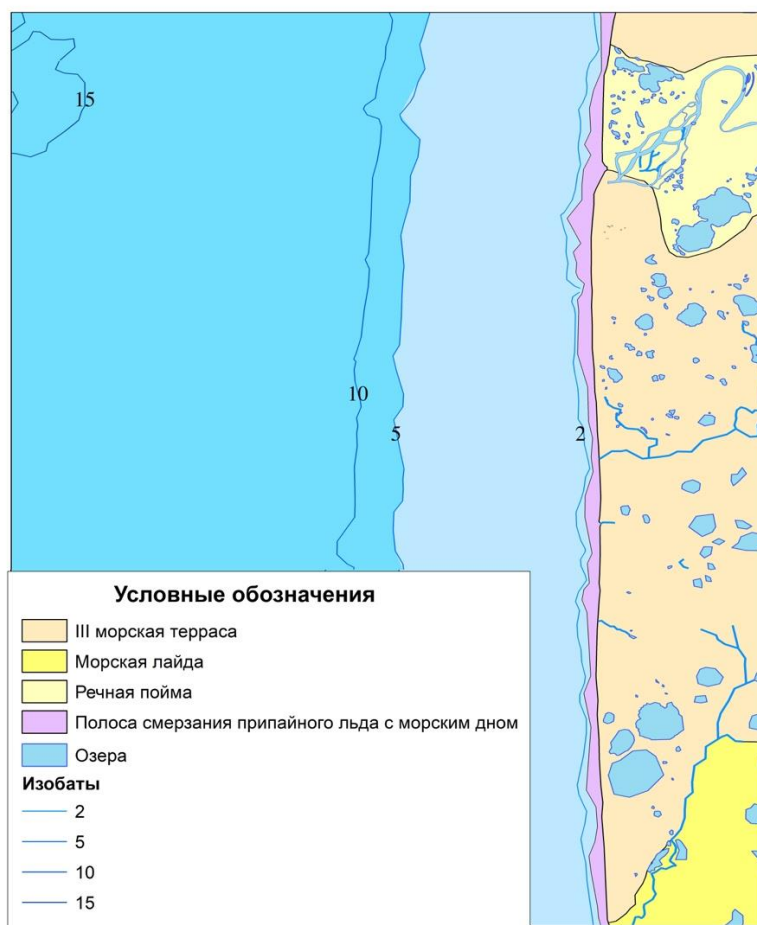


Рис. 1. Модельный участок изучения геоэкологических условий в прибрежно-морской области Западного Ямала

Fig. 1. A model site for the study of geoecological conditions in the coastal marine region of Western Yamal

На фоне наблюдаемой динамики климата изучение геоэкологических условий становится особенно актуальным при составлении перспективных планов развития климато-зависимых отраслей хозяйственной деятельности.

Изменение климатических условий:

- влияет на социально-экономическую деятельность регионов, условия проживания коренных народов и здоровье населения;
- ведет к изменениям в природной среде и отражается на видовом составе флоры и фауны, уровне рек, погодных условиях, сезонной ритмике, оттаиванию многолетнемерзлых пород, распространению ареалов природно-очаговых заболеваний и т. д.;
- ведет к пожароопасной обстановке, чем повышает вероятность возникновения экологических катастроф.

Предполагаемые изменения климата могут оказать как позитивное, так и негативное воздействие [Кочуров др., 2009; Шац, 2010; Широков, 2019].

Объекты исследования

Тренды изменения природной обстановки в прибрежно-морской области. Климат

Температура воздуха. На основании многолетних данных метеонаблюдений установлено, что начиная с 1970-х гг. в Арктике в целом и на Западном Ямале в частности наблюдается ярко выраженное потепление. Оно происходит синхронно для всего региона Западной Арктики, при этом не монотонно, а с некоторыми кратковременными флуктуациями как в сторону повышения, так и в сторону понижения среднегодовой температуры. В целом градиент повышения среднегодовой температуры за 1970–2018 гг. составил около $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, т. е. $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ (рис. 2). Это высокие значения градиента повышения температуры. При этом следует понимать, что не существует никаких подтверждений того, что такие темпы потепления климата сохранятся и в дальнейшем.

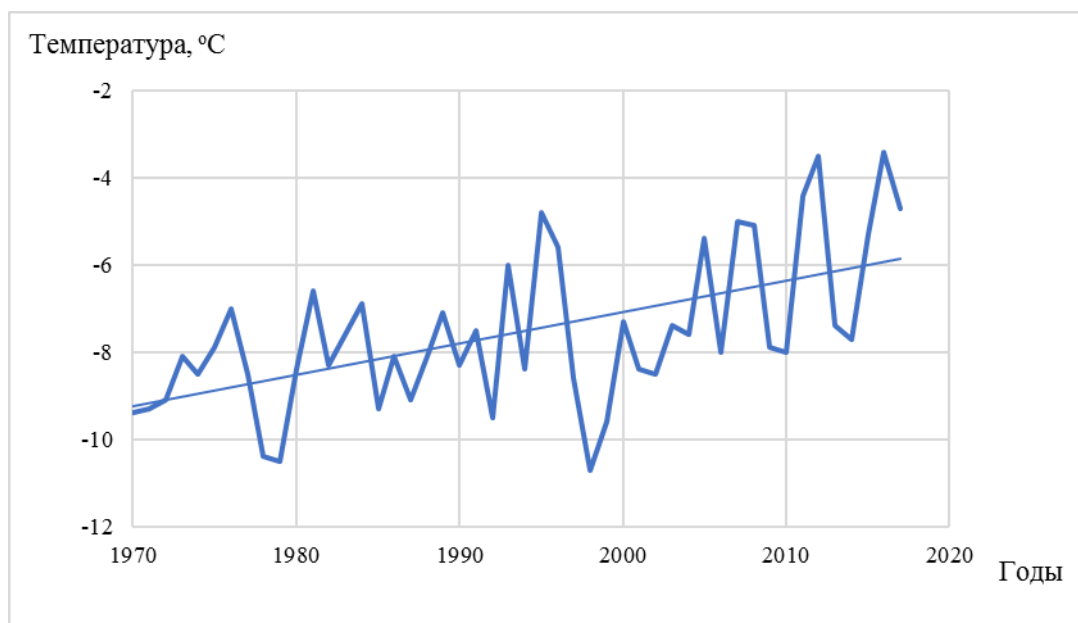


Рис. 2. Изменение среднегодовой температуры воздуха во времени и линейный тренд по данным полярной станции Марре-Сале

Fig. 2. The change in the average annual air temperature over time and a linear trend according to the polar station Marre-Sale

В последние десятилетия принято прогнозировать климатические изменения на основании семейства (ансамбля) климатических моделей [Анисимов и др., 2003; IPCC..., 2013; IPCC..., 2014], каждая из которых обладает собственным набором достоинств и не-

достатков. Анализ данных с использованием семейства моделей позволяет в какой-то мере сгладить их индивидуальные недостатки и получить более достоверные оценки. Полученные нами данные по трендам среднегодовой температуры воздуха показывают, что в течение последних 50 лет на Западном Ямале реализуется умеренный, но приближающийся к «жесткому» сценарий потепления климата с ростом среднегодовых температур до 4.0–5.5 °C/100 лет. Катастрофический сценарий предусматривает рост температуры на 6 °C/100 лет и более. Приемлемым, не вызывающим необратимых изменений считается уровень потепления в 2 °C/100 лет [IPCC..., 2018]. Не установлено возрастания числа аномалий температуры воздуха при потеплении климата.

Продолжительность теплого периода. Анализ климатических данных по полярной станции Марре-Сале показывает, что для Западного Ямала наблюдается увеличение продолжительности теплого периода (рис. 3).

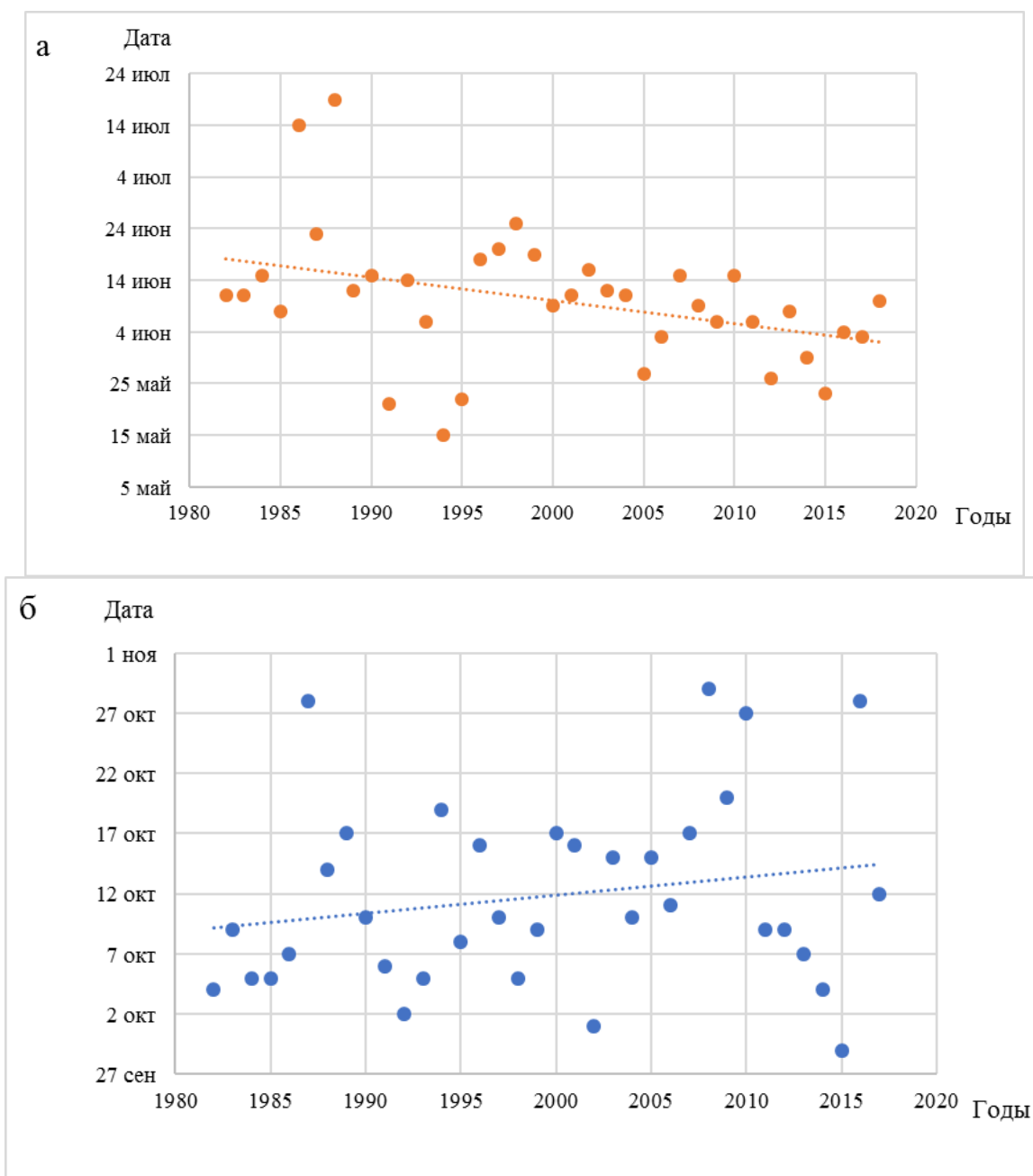


Рис. 3. Изменение дат весеннего (а) и осеннего (б) устойчивого перехода дневной температуры через ноль
 Fig. 3. Change in the dates of spring (a) and autumn (b) steady transition of daytime temperature through zero



Переход суточной температуры через «0» весной смещается к все более ранним датам, с 19 июня ко 2 июня (по линейному тренду). Осенний переход температуры через «0», напротив, смещается к все более поздним срокам. За последние годы эта дата сместилась с 9 октября (1980) к 15 октября (2017). Таким образом, продолжительность теплого периода возросла примерно на три недели за последние 30–35 лет.

Осадки. Западный Ямал относится к зоне избыточного увлажнения. Потепление климата сопровождается увеличением годовой суммы осадков, при этом сумма зимних осадков возрастает в несколько меньшей степени, чем летних. Количество летних осадков выросло заметно. В конце 1960 – начале 1970 гг. сумма летних осадков составляла 110–130 мм, а к 2015 г. выросла до 150–170 мм.

Снежный покров. По имеющимся данным, наблюдается увеличение максимальной высоты снежного покрова. С 16 см (статистически) в 1960 г. высота снежного покрова возросла до 37 см при некотором снижении его плотности. Таким образом, существенно возросла теплоизолирующая роль снега.

Гидрология моря

Придонная температура воды в открытом море. Анализ полученных наблюдений показал, что на фоне общего потепления Мирового океана, оцениваемого примерно в $0.02 - 0.04$ °C в год [Willis et al., 2004], температура придонного слоя воды в Карском море за последние 100 лет, в зависимости от морфоструктурных особенностей морского дна и условий теплообмена, в т. ч. поступления теплых атлантических вод через проливы Карские ворота и Маточкин Шар, повышается со скоростью 0.01 °C в год (Северо-Таймырский шельф) до 0.028 °C в год (Байдарацкая губа). Это приводит к ускоренной деградации субквальной мерзлоты, дополнительной эмиссии метана из мерзлых пород в водную толщу и ускорению биогеохимических процессов.

Температура воды на мелководье. Повышение температуры воздуха, увеличение продолжительности безледного периода вызывает повышение среднегодовой температуры воды в мелководной области. На основе наших наблюдений скорость повышения температуры воды здесь оценивается в $0.03 - 0.035$ °C/год, что превышает максимально наблюдавшееся повышение температуры придонного слоя воды в открытом море. Другими словами, реакция мелководной зоны Карского моря на климатические изменения оказывается более острой, чем на больших глубинах. Инструментальные измерения на мелководье позволили установить, что быстрые изменения (часы и первые сутки) придонной температуры воды в условиях преобладающего волнения моря до 0.5 м происходят только при глубинах моря, меньших 6 м. На больших глубинах температура придонного слоя воды меняется за счет более долговременных изменений температуры воздуха – сезонных и межгодовых изменений. Исходя из общих представлений о закономерностях перемешивания водных масс в море при ветровом волнении [Шулейкин, 1968] и преобладающей высоте волн 0.5–1 м, можно констатировать, что для Карского моря внешняя граница мелководья ограничена изобатой 6–10 м. Интересно отметить, что на этих же глубинах расположена внешняя граница вдольберегового талика в субквальных мерзлых породах.

Ветровое волнение и штормы. Анализ имеющихся данных показывает неизменность параметров ветрового волнения, частоты и силы штормов во времени на фоне меняющегося климата. В литературе приведены данные спутниковой альтиметрии, согласно которым за 23 года наблюдается незначительный, но устойчивый рост высоты ветровых волн и частоты штормов [Young et al., 2011]. Величины прироста столь невелики, что на масштабе времени 10–100 лет параметры волнения и штормы можно считать не меняющимися.

Сезонный ледовый покров (припайный лед) и полоса смерзания. На основании результатов измерения толщины сезонного (припайного) льда за 1998–2018 гг. можно сделать вывод, что потепление климата в наибольшей мере сказывается на ледовом покрове. На Западном Ямале максимальная толщина сезонного льда за последние 20 лет уменьшилась (статистически) со 150 до 115 см. Ширина полосы смерзания (зоны сезонного обитания морской биоты) у аккумулятивных берегов снизилась со 150–170 м до 90–120 м. У

термоабразионных берегов это снижение составило с 80–130 м до 60–90 м. Еще более разительные изменения наблюдаются в изменении площади морских льдов, но они здесь не рассматриваются.

Геологическая среда

Климатические изменения не влияют на состав мерзлых отложений, поэтому здесь они не рассматриваются.

Температура мерзлых пород на третьей морской террасе. Температура многолетнемерзлых пород (ММП) в континентальной области повышается на фоне потепления климата. С 1978 по 2018 гг. в среднем по району исследований среднегодовая температуры повысилась с -6.8 до -4.6 °С. Во всех зональных ландшафтах типичной тундры возрастание среднегодовой температуры примерно одинаково. В азональных ландшафтах – болотах и торфяниках – повышение температуры неодинаково: болота характеризуются максимальным изменением среднегодовой температуры, торфяники – минимальным. То есть различные ландшафты обладают разной реакцией на климатические изменения.

Температура мерзлых пород в переходной области зависит от типа литодинамических процессов. На пляжах у термоабразионных берегов наблюдается столь высокое повышение среднегодовой температуры, что здесь можно говорить о переходе верхней толщи мерзлых пород в сезонно-мерзлое состояние. Наблюдения в скважинах, расположенных в этом типе переходной области, показали, что среднегодовая температура изменяется в пределах от -0.9 до -2.0 °С, т. е. чаще всего она выше температуры фазовых переходов (-1.4 °С) [Васильев и др., 2018]. Таким образом, при переходе от континентального типа криогенных толщ к транзитному наблюдается резкий скачок среднегодовой температуры от -4.5 до -6.5 °С к -0.9 до -2.1 °С. В области морской аккумуляции наблюдается образование низких аккумулятивных островов и происходит новообразование мерзлоты по сингенетическому типу. Среднегодовая температура пород повысилась с -4.4 до -3.5 °С. Из-за потепления климата в этой зоне наблюдается затруднение новообразования мерзлоты и нарушается ее стабильность [Васильев и др., 2017]. В пределах речной поймы повышение температуры многолетнемерзлых пород привело к оттаиванию мерзлоты сверху и формированию несквозных таликов глубиной до 2.7 м, которые ранее не образовывались. Среднегодовая температуры мерзлых пород на таких ландшафтах повысилась до -0.25 ... $+0.5$ °С.

Температура почвы играет очень важную роль в развитии почвенных процессов и растительности. Наши наблюдения показали, что в последние десятилетия формируется отчетливый тренд повышения среднегодовой температуры корнеобитаемого слоя почвы (до глубины 1.0 м) с -7.5 до -5.5 ... -6.0 °С. Таким образом формируются более благоприятные условия для развития растительного покрова и прироста биомассы.

Глубина сезонного оттаивания. Глубина сезонного оттаивания является важнейшим индикатором реакции мерзлотных ландшафтов на климатические изменения и показателем, определяющим развитие почвенных процессов и условий корнеобитания растительного покрова. За период с 1978 по 2018 г. в среднем по всем доминантным ландшафтам глубина сезонного оттаивания увеличилась всего на 5–15 % (рис. 4). На этом основании некоторые исследователи считают глубину сезонного оттаивания ненадежным индикатором реакции многолетнемерзлых пород на изменения климата. ММП, как криогенная геосистема, обладает собственными механизмами защиты от прогрессирующего оттаивания на основе обратной связи с факторами внешнего воздействия. Таким образом, с одной стороны, потепление климата должно вызывать увеличение глубины сезонного оттаивания, с другой – одновременно срабатывают механизмы защиты. В итоге наблюдается заниженная реакция глубины сезонного оттаивания на рост средней летней температуры воздуха. Все это относится к естественным условиям. При любых техногенных нарушениях компенсации дополнительного притока тепла нет и наблюдается прогрессирующее оттаивание верхнего горизонта мерзлых пород и развитие деструктивных процессов, в первую очередь, термокарста.

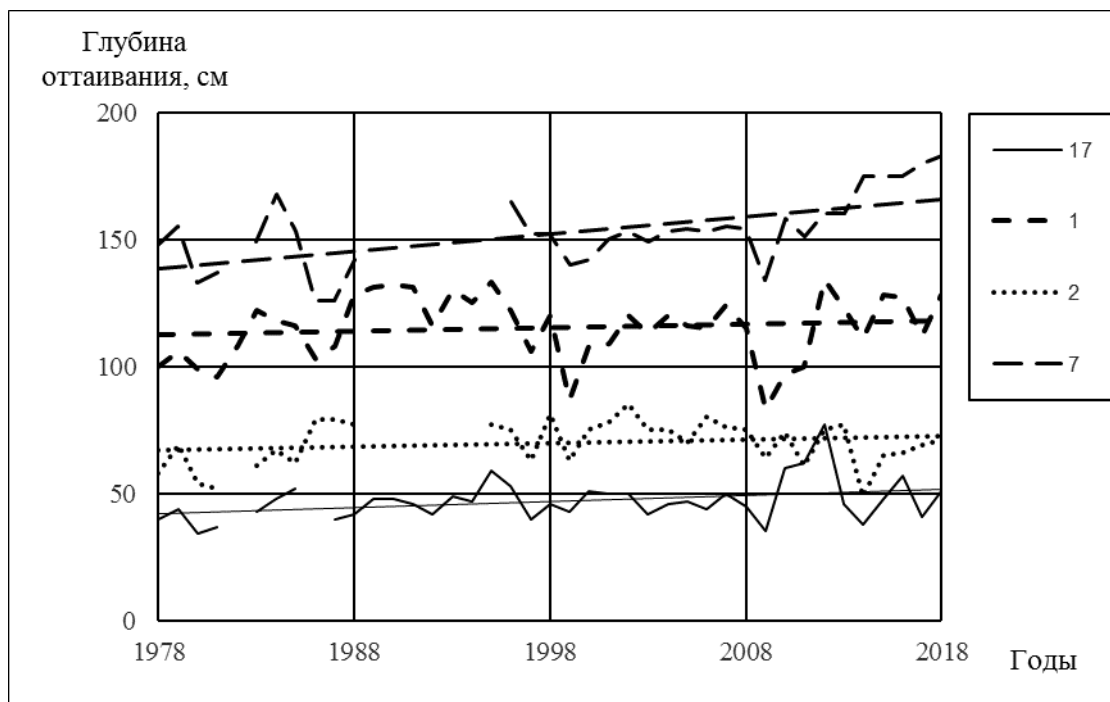


Рис. 4. Изменение глубины сезонного оттаивания во времени (номера в легенде соответствуют номерам наблюдательных площадок)

Fig. 4. Change in the depth of seasonal thawing over time (numbers in the legend correspond to numbers of observation sites)

Криогенные процессы. В прибрежно-морской области основная роль в формировании геоэкологических условий принадлежит береговым процессам – разрушению морских берегов или термоабразии, переформированию примыкающей части подводного берегового склона, процессам аккумуляции морских наносов и образованию морских аккумулятивных форм, в значительно меньшей степени – ветровой дефляции. На основании многолетнего мониторинга динамики морских берегов установлено, что скорость отступления термоабразионных берегов не связана непосредственно с показателями климатических изменений, но определяется более сложными связями с характеристиками атмосферных процессов – барико-циркуляционными процессами в Арктике в целом. Скорость отступления берега характеризуется крайне высокой пространственной изменчивостью. Разрушение морских берегов не постоянно во времени, но изменяется циклически с периодом порядка 21–23 лет. Средняя многолетняя скорость отступления берегов в районе исследований составляет около 1.7 м/год, изменяясь от 0.4 м/год до 3.2 м/год в разные периоды. Эти величины и должны использоваться при выработке инженерных решений при промышленном освоении прибрежно-морской области Западного Ямала.

В естественных условиях деформации пляжей и подводного берегового склона характеризуются умеренными величинами – до 0.7 м, обычно даже до 0.10–0.15 м. По нашим наблюдениям деформация пляжей и примыкающей части подводного берегового склона могут иметь разный знак. Но проведение технических работ в полосе примыкания подводного берегового склона, искусственное перемещение или отбор наносов резко повышают активность береговых процессов. На примере соседнего района м. Харасовой известно, что отбор песчаных наносов в береговой зоне [Камалов и др., 2002] привел к увеличению скорости разрушения берега более чем в два раза [Vasiliev et al., 2011]. Отступление морских берегов сопровождается развитием процессов термоденудации и линейной эрозии. По полигонально-жильным льдам формируются короткие овраги со скоростью движения вершин оврагов до 10 м/год. На участках развития массивов пластовых льдов формируются термоденудационные цирки протяженностью до 300 м и более и глубиной вреза в сторону берега до 200 м. Дефляционные процессы поражают полосу берега шириной до 200–400 м.

Таким образом, ширина полосы риска прибрежно-морской области, обусловленная интенсивным развитием криогенных процессов, составляет около 400 м от береговой полосы вглубь берега [Vasiliev et al., 2013].

Результаты и их обсуждение

Анализ полученных данных, их интерпретация дают возможность оценить изменения геоэкологической обстановки прибрежно-морской области Западного Ямала в условиях меняющегося климата. Климатические изменения влекут за собой изменение в гидрологии Карского моря и ключевых показателей мерзлотной обстановки. Все эти характеристики природной среды вызывают изменения геоэкологических условий специфичной прибрежно-морской области, одновременно испытывающей влияние и моря, и континента. Изменения происходят во всех компонентах геоэкологической обстановки, но здесь рассматриваются те из них, которые поддаются оценке на основании полученных данных. В большинстве случаев оценки носят качественный характер.

Растительный покров и почвы. Поскольку растительные сообщества в области типичной тундры обитают на пределе выживания (толерантности по Д.В. Карелину [2007]), повышение среднегодовой и среднелетней температуры непосредственно сказывается на видовом составе и росте биопродуктивности растительного покрова. Смещение сроков перехода температуры воздуха через «0» увеличивает продолжительность вегетационного периода. Увеличение количества летних осадков в условиях и так избыточного увлажнения приводит к заболачиванию территории, увеличению доли болотных растительных сообществ и сокращению ареалов растительности дренированных тундр. Приращение мощности снежного покрова благоприятно сказывается на тундровых кустарниках ивы (*Salix polaris*, *S. glauca*) и карликовой березки (*Betula nana*), поскольку снежный покров является естественным протектором веток кустарников от обморожения. За последние 30 лет высота куртин ивы возросла с 20–30 до 40–50 см. Повышение температуры мерзлоты и почвенного покрова вызывает увеличение корнеобитаемого слоя и изменение структуры растительности, адаптированной к мерзлоту коренному субстрату.

Повышение температуры воздуха и удлинение продолжительности теплого периода благоприятно сказывается на скорости биогеохимических процессов. Увеличение количества летних осадков вызывает переувлажнение, заболачивание территории и формирование болотных почв. Доля дренированных почв снижается. Повышение температуры мерзлоты сопровождается и повышением температуры почв. Они становятся более «теплыми», нарастает мощность почвенного покрова. Почвы типичной тундры в прибрежно-морской области Западного Ямала подвержены ветровой эрозии. Продолжительность и сила ветров при потеплении климата не изменяется, поэтому следует ожидать, что интенсивность ветровой эрозии почв не увеличится.

Традиционный уклад жизни коренного населения. Потепление климата самым непосредственным образом сказывается на традиционном укладе жизни коренных народов, происходит их адаптация к новым условиям. Перестройка растительного покрова, смещение границы леса к северу вызывают изменение структуры пастбищных угодий и традиционных кочевых маршрутов. Изменение сроков и продолжительности теплого периода приводит и к смещению сроков перегона оленьих стад, а в некоторых случаях – к трансформации границ пастбищ, закрепленных за отдельными семьями и хозяйствами. Рост максимальной высоты снежного покрова несколько затрудняет добывание корма оленями, но эти препятствия относительно невелики.

Потепление климата и вызванное им увеличение глубины сезонного оттаивания может вызвать ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки. Примером может служить 2016 г., когда из-за угрозы распространения сибирской язвы был объявлен карантин и приняты соответствующие меры на всей территории Ямала. Кроме того, наши оцен-



ки показывают, что отступление морских берегов приводит к потере земель пастбищного качества в Ямало-Ненецком автономном округе площадью около 140 га ежегодно.

Промышленное (нефтегазовое) освоение. Потепление климата и вызванные им изменения геоэкологических условий наибольшим образом сказываются на принципах промышленного освоения, в основном нефтегазового комплекса. При этом изменение геоэкологических условий, даже без учета техногенной нагрузки, необходимо учитывать при проектировании и на стадии строительства и эксплуатации промышленных объектов. Потепление климата улучшает строительно-климатические характеристики, в т. ч. происходит увеличение продолжительности теплого периода для проведения строительных работ, но одновременно сокращаются сроки пользования зимними дорогами (зимниками) примерно на две недели. Увеличение летних осадков может осложнять промышленное освоение за счет подтопления и заболачивания, а возрастание мощности максимального снежного покрова приводит к увеличению объемов снегоуборочных работ.

Установленное повышение температуры придонного слоя воды на 1–2.8 °С за 100 лет вызывает деградацию субаквальной мерзлоты и образование неравномерных просадок морского дна с амплитудой до 3 м, которые осложняют строительство портовых сооружений, морских каналов и т. п. Как показали результаты изучения рельефа морского дна Карского моря, на глубинах до 10 м плановый размер просадочных ареалов может достигать первых сотен метров. В прибрежной области вследствие сокращения ширины полосы смерзания припайного льда и повышения температуры воды в береговой зоне наблюдается активная деградация и ускоренное опускание кровли мерзлоты, и вследствие этого возможны и ожидаемы деформации оснований береговых сооружений. Повышение температуры мерзлых пород на 2 °С с 1978 по 2018 гг. привело к потере несущей способности свайных фундаментов примерно на 20–25 % [Дубровин, 2003; Shiklomanov et al., 2016].

В обобщенном виде влияние факторов природной обстановки на формирование геоэкологических условий приведено в табл. 1.

Таблица 1
Table 1

Изменение геоэкологических условий прибрежно-морской области
Западного Ямала при потеплении климата
Changes in the geoecological conditions of the coastal-marine region
of Western Yamal during climate warming

Факторы природной среды, влияющие на геоэкологическую обстановку	Реципиенты			
	Растительный покров	Почвы	Традиционный уклад жизни коренного населения	Промышленное (нефтегазовое) освоение
Климат				
Температура воздуха	Изменение видового состава растительности. Смещение границ биоклиматических зон к северу. Рост биопродуктивности	Ускорение биогеохимических процессов	Изменение структуры пастбищных угодий. Изменение традиционных кочевых маршрутов	Улучшение строительно-климатических показателей
Изменение продолжительности теплого периода	Увеличение продолжительности вегетационного периода	–	Смещение сроков перегона оленьих стад	Увеличение продолжительности теплого периода. Сокращение сроков использования зимних дорог

Окончание табл. 1

Летние осадки	Увеличение доли болотных ландшафтов	Переувлажнение и заболачивание	–	Возможность подтопления строительных объектов
Снег	Увеличение прироста кустарников	–	Затруднения в добывании корма оленями	Увеличение объемов снегоочистки
Гидрология моря				
Придонная температура воды в открытом море	–	–	–	Образование просадок морского дна за счет деградации мерзлоты с пластовыми льдами
Температура воды в прибрежной области	–	–	–	Деформации оснований за счет ускоренной деградации мерзлоты
Сезонный (припайный) лед	–	–	–	Сужение полосы смерзания морского льда и морского дна
Геологическая среда				
Температура ММП	Изменение структуры растительного покрова на мерзлом субстрате	Повышение температуры почв	–	Снижение несущей способности свайных фундаментов
Глубина сезонного оттаивания	Увеличение слоя корнеобитания	Повышение мощности почвенного покрова	Возможное ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки	Ускоренное криогенное разрушение оголовков свай
Криогенные процессы	–	Ветровая эрозия почв	Утрата пастбищных земель	Развитие опасных процессов при техногенном воздействии на мерзлоту

Выводы

Современное нестабильное состояние геосистем Ямала обусловлено геолого-структурными и геодинамическими особенностями территории, историей её формирования и развития в плейстоцен-голоценовое время и современными тенденциями изменения природно-климатических условий. На основании многолетних данных метеонаблюдений установлено, что начиная с 1970-х гг. в Арктике в целом и на Западном Ямале в частности наблюдается ярко выраженное потепление. Оно происходит синхронно для всего региона Западной Арктики, при этом не монотонно, а с некоторыми кратковременными флуктуациями, как в сторону повышения, так и в сторону понижения среднегодовой температуры. Из-за потепления климата в этой зоне наблюдается затруднение новообразования мерзлоты и нарушается ее стабильность. Температура почвы играет очень важную роль в развитии почвенных процессов и растительности. Наблюдается прогрессирующее оттаивание верхнего горизонта мерзлых пород и развитие деструктивных процессов, в первую оче-



редь, термокарста. На основании многолетнего мониторинга (30 лет) динамики морских берегов установлено, что скорость отступления термоабразионных берегов не связана непосредственно с показателями климатических изменений, но определяется более сложными связями с характеристиками атмосферных процессов – барико-циркуляционными процессами в Арктике в целом.

Анализ данных длительного мониторинга позволяет заключить, что в пределах прибрежно-морской области Западного Ямала на коротком пространстве в ее разных природных зонах одновременно наблюдаются реверсивные реакции (тренды) компонентов природной среды на климатические изменения, определяющие динамику геоэкологических условий этих зон.

В целом же геоэкологические условия области можно пока считать достаточно устойчивыми, за исключением случаев промышленного освоения, при котором антропогенная нагрузка может превысить адаптивные возможности природной среды.

В дальнейшем исследовании будет произведена геоэкологическая бально-рейтинговая оценка деградирующей криолитозоны – географическое распространение, термический режим, новые свойства мерзлых и оттаивающих пород, как в континентальных условиях, так и в области субэкваториальной мерзлоты Карского моря. Предполагается составить оценочные мелкомасштабные карты, включая прогнозные оценки на основе климатических и океанографических баз данных, многолетних полевых измерений и математического моделирования.

Благодарности

Исследование условий и параметров деградации многолетнемерзлых пород выполнено при поддержке РФФИ, грант № 18-05-60004, оценка изменения геоэкологических условий проведена при поддержке гранта РФФИ 19-35-90049.

Список литературы

1. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А., Лобанов В.А. 2003. Современные изменения климата и природной среды в области высоких широт Северного полушария. Метеорология и гидрология, 1: 18–30.
2. Васильев А.А., Мельников В.П., Стрелецкая И.Д., Облогов Г.Е. 2017. Новообразование мерзлоты и продуцирование метана на низких аккумулятивных лайдах Карского моря. Доклады Академии Наук, 2 (476): 213–216.
3. Васильев А.А., Облогов Г.Е., Стрелецкая И.Д., Широков Р.С. 2018. Новообразование многолетнемерзлых пород на низких лайдах Карского моря. Криосфера Земли, 5 (12): 36–46.
4. Дубровин В.А. 2003. Оценка современного состояния криолитозоны Ямала. Материалы Международной конференции. Пушино, ЗАО «Олита»: 166 с.
5. Камалов А.М., Огородов С.А., Архипов В.В. 2002. Динамика берегов Западного Ямала. Материалы Международной конференции. Пушино: 63–64.
6. Карелин Д.В. 2007. Функционирование криогенных экосистем северной Евразии и Аляски. Автореф. дис. ... док. биол. наук. Москва, МГУ, 42 с.
7. Кочуров Б.И., Шишкина Д.Ю., Антипова А.В., Костовска С.К. 2009. Геоэкологическое картографирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. Москва, Издательский центр «Академия», 192 с.
8. Шац М.М. 2010. Динамика современного климата и ее роль в оценке территориального потенциала Севера. Территория и планирование, 5 (29): 84–93.
9. Широков Р.С. 2019. Геоэкологические аспекты функционирования прибрежно-морской области Западного Ямала. XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2019». Москва, МГУ: 1–2.
10. Шулейкин В.В. 1968. Физика моря. Москва, Наука, 1083 с.
11. IPCC. 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, Cambridge University Press, 1535 p.

12. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge, Cambridge University Press, 1435 p.

13. IPCC. 2018: Summary for Policymakers. 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. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 32 p.

14. Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T. B., Kokorev V. 2016. Climate Change and Stability of Urban Infrastructure in Russian Permafrost Regions: Prognostic Assessment based on GCM Climate Projections. *Geographical Review*, 1 (107): 125–142.

15. Vasiliev A.A., Rekant P.V., Oblogov G.E., Shirokov R.S. 2013. Submarine Permafrost of Kara Sea. Modern View. *Earth Cryology: XXI Century*, Tyumen, ANO «Gubernskaya Academiya»: 35–36.

16. Vasiliev A.A., Shirokov R.S., Oblogov G.E., Streletskaya I.D. 2011. Coastal dynamics of the Western Yamal. *Kriosfera Zemli*, 4 (15): 63–65.

17. Willis J.K., Roemmich D., Cornuelle B. 2004. Interannual variability in upper ocean heat content, temperature, and thermosteric expansion on global scales. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1–13.

18. Young R., Zieger S., Babanin A.V. 2011. Global trends in wind speed and wave height. *Science*, 6028 (332): 451–455.

References

1. Anisimov O.A., Belolutskaya M.A., Lobanov V.A. 2003. Modern changes in climate and the environment in the high latitudes of the Northern Hemisphere. *Meteorology and Hydrology*, 1: 18–30 (in Russian).

2. Vasiliev A.A., Melnikov V.P., Streletskaya I.D., Oblogov G.E. 2017. Permafrost and methane production on low accumulative floods of the Kara Sea. *Doklady Akademii Nauk*, 2 (476): 213–216 (in Russian).

3. Vasiliev A.A., Oblogov G.E., Streletskaya I.D., Shirokov R.S. 2018. Permafrost neoplasm on low floods of the Kara Sea. *Cryosphere of the Earth*, 5 (12): 36–46 (in Russian).

4. Dubrovin V.A. 2003. Assessment of the current state of the permafrost zone of Yamal. Materials of the International Conference. Pushchino, ZAO «Olita»: 166 p. (in Russian).

5. Kamalov A.M., Ogorodov S.A., Arkhipov V.V. 2002. The dynamics of the coast of Western Yamal. Materials of the International Conference. Pushchino: 63–64 (in Russian).

6. Karelin D.V. 2007. Funktsionirovaniye kriogennykh ekosistem severnoy Evrazii i Alyaski [The functioning of cryogenic ecosystems of northern Eurasia and Alaska]. Abstract dis. ... doc. biol. sciences. Moscow, MSU, 42 p.

7. Kochurov B.I., Shishkina D.Yu., Antipova A.V., Kostovska S.K. 2009. Geocological mapping: a study guide for students. higher textbook. institutions. Moscow, Publishing Center «Academy», 192 p. (in Russian).

8. Shatz M.M. 2010. The dynamics of the modern climate and its role in assessing the territorial potential of the North. *Territory and planning*, 5 (29): 84–93 (in Russian).

9. Shirokov R.S. 2019. Geocological aspects of the functioning of the coastal-marine region of Western Yamal. XXVI International conference of students, graduate students and young scientists «Lomonosov-2019». Moscow, MSU: 1–2 (in Russian).

10. Shuleikin V.V. 1968. *Fizika morya* [Physics of the sea]. Moscow, Science, 1083 p.

11. IPCC. 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, Cambridge University Press, 1535 p.

12. IPCC. 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge, Cambridge University Press, 1435 p.

13. IPCC. 2018: Summary for Policymakers. 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. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 32 p.

14. Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T. B., Kokorev V. 2016. Climate Change and Stability of Urban Infrastructure in Russian Permafrost Regions: Prognostic Assessment based on GCM Climate Projections. *Geographical Review*, 1 (107): 125–142.

15. Vasiliev A.A., Rekant P.V., Oblogov G.E., Shirokov R.S. 2013. Submarine Permafrost of Kara Sea. Modern View. *Earth Cryology: XXI Century*, Tyumen, ANO «Gubernskaya Academiya»: 35–36.

16. Vasiliev A.A., Shirokov R.S., Oblogov G.E., Streletskaya I.D. 2011. Coastal dynamics of the Western Yamal. *Kriosfera Zemli*, 4 (15): 63–65.

17. Willis J.K., Roemmich D., Cornuelle B. 2004. Interannual variability in upper ocean heat content, temperature, and thermocline expansion on global scales. *Journal of Geophysical Research*, 109: 1–13.

18. Young R., Zieger S., Babanin A.V. 2011. Global trends in wind speed and wave height. *Science*, 6028 (332): 451–455.

Ссылка для цитирования статьи

Link for article citation

Широков Р.С. 2019. Формирование геоэкологических условий прибрежно-морской области Западного Ямала при изменении климата. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 43(4): 412–424. DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-4-412-424

Shirokov R.S. 2019. Formation of geoecological conditions of the coastal marine region of the Western Yamal under climate change. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences Series*. 43(4): 412–424 (in Russian). DOI 10.18413/2075-4671-2019-43-4-412-424