
Институт глобального климата и экологии
имени академика Ю.А. Израэля

Институт географии РАН

**II Всероссийская научная конференция
с международным участием
«МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ
И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
ЭКОСИСТЕМЫ И КЛИМАТ
АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ»**

25-27 ноября 2020 г.

Конференция проводится при поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований
(грант РФФИ № 20-05-22035)

Расширенные тезисы докладов

г. Москва

Секция 7 «МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ КРИОСФЕРЫ АРКТИКИ»

**Васильев А.А., Дроздов Д.С., Задорожная Н.А., Малкова Г.В.,
Облогов Г.Е., Стрелецкая И.Д.**
Новые данные о деградации мерзлоты в западном секторе
Российской Арктики.....310

Замолодчиков Д.Г., Маслаков А.А., Каганов В.В.
Мониторинг активного слоя почвы в Арктической зоне.....313

**Сергеев Д.О., Исаев В.С., Горшков Е.И., Погорелов А.А.,
Аманжуров Р.М., Тананаев Н.И., Котов П.И., Безделова А.П.**
Структурно-динамический длительновременной мониторинг
криогенной экосистемы южной тундры в современных климатических
условиях (на примере научно-учебного стационара Хановей).....316

Лапина Л.Э., Каверин Д.А., Пастухов А.В.
Нелинейная волновая диффузия тепла в почву на южной
границе типичной тундры Европейской части России.....320

Маслаков А.А., Шабанова Н.Н.
Мониторинг динамики термоабразионного берега в районе
с. Лорино (Берингово море, Чукотский АО).....323

Малахова В.В.
Влияние изменений климата на скорость деградации
субаквальной мерзлоты.....326

НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛНОВАЯ ДИФФУЗИЯ ТЕПЛА В ПОЧВУ НА ЮЖНОЙ ГРАНИЦЕ ТИПИЧНОЙ ТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Л.Э. Лапина¹⁾, Д.А. Каверин²⁾, А.В. Пастухов

¹⁾ Институт водных проблем РАН,
Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; *l.e.lapina@yandex.ru*

²⁾ Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
Россия, 167000, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Аннотация. Цель работы – оценить пампинг-эффект (нелинейная волновая диффузия) на основе измерений температуры почвы, проведенных в южной части типичной тундры Европейской части России. По этим измерениям построена функциональная зависимость коэффициента температуропроводности от температуры среды. Показано, что повышение амплитуд колебаний температуры на поверхности почвы может привести в ряде случаев к охлаждению температуры на достаточно больших глубинах, то есть происходит откачка тепла.

Ключевые слова. Пампинг-эффект, коэффициент температуропроводности, нелинейная диффузия.

Abstract. The aim of the work is to evaluate the pumping effect (nonlinear wave diffusion) based on soil temperature measurements carried out in the southern part of the typical tundra of the European part of Russia. The functional dependence of the coefficient of thermal diffusivity on the temperature of the medium is based on them. It is shown that an increase in the amplitudes of temperature fluctuations on the soil surface can lead in some cases to its cooling at sufficiently large depths, that is, heat is pumped out.

Keywords. Pumping effect, thermal diffusivity, nonlinear diffusion.

В работе (Зырянов, 2007) утверждается, что в Мировом океане увеличение амплитуды колебаний поверхности океана будет приводить к охлаждению глубинных вод. А будет ли такой эффект для других сред, например, почвы? Ответ пока не очевиден. Кроме того, в работе (Зырянов, 2013) утверждается, что пампинг-эффект во льду будет откачивать тепло из нижних слоев ледового массива при увеличении амплитуды колебаний на его верхней границе, но в этой работе использовалась функция температуропроводности льда. Подтверждают ли измерения температуры почвы вывод, полученный в работе (Зырянов, 2013)? Этот эффект изучался, например, в ледяном покрове (Зырянов, Круглихин, 2016).

Наряду с диффузией тепла, этот механизм может влиять и на сток газов. Так, в работе (Углерод..., 2014) отмечается, что в начале апреля на болоте Медла-Пев-Нюр наблюдался сток углерода при отрицательных температурах.

Объекты и методы

Полевые работы проводились сотрудниками Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в Ненецком автономном округе в 55 км к северо-востоку от метеостанции Хорей-Вер. Участок исследований относится к южной части типичной тундры. На участке исследований зимняя дорога пересекает тун-

дровые природно-территориальные комплексы на песчаных и суглинистых почвах и крупнобугристо-мочажинный болотный комплекс на торфяных мерзлотных почвах. В работе под СТС понимается сезонно-талый слой. Краткое описание рассматриваемых участков приведено в табл. 1. Более подробное описание участка исследований опубликовано в работе (Каверин и др., 2019). Непрерывные температурные измерения проводились в период с 15 августа 2014 по 15 июля 2015 гг. на 5 площадках с выделением ненарушенного участка в колее зимней дороги. Измерения проводились каждые 4 часа на глубинах 0, 2, 5, 10, 20 и 40 см.

Таблица 1. Описание участков

Участок	Описание
1	Почва аллювиально- слоистая на слоистых аллювиальных песках, глубина СТС 110 см
2	Почва аллювиальная глееватая на слоистых аллювиальных песках, глубина СТС 120-130 см
3	Плоскобугристый торфяник. Почва торфяная олиготрофно мерзлотная, глубина СТС 45 см
4	Кустарничково-лишайниковая тундра. Отдельные кусты высотой 20-40 см, глеезем криометаморфический на пылеватых суглинках. Глубина СТС больше 150 см
5	Ивняково-моховая тундра, высота ивнякового яруса 1.5-2 м. Торфяно-глеезем криометаморфический на пылеватых суглинках. Глубина СТС больше 150 см.

Результаты

На основе измерений температуры почвы по суточным колебаниям температуры рассчитывался коэффициент температуропроводности. Далее считали осредненные по глубине от 0 до 40 см температуры в течении суток. Рассчитанные коэффициенты отдельно делились на две группы: при отрицательных температурах и при положительных. Кроме того, полученные результаты еще проходили проверку на корректность потому что используемая формула для расчетов не всегда корректна. В итоге получили отдельно функциональную зависимость от температуры среды, результаты которой изложены в работе (Лапина, 2019) отдельно для положительных и отрицательных температур. Для оценки значения температуры на большой глубине использовалась теорема, приведенная в работе (Зырянов, 2013). Результаты представлены в табл. 2. Первое значение амплитуды колебаний для каждого участка соответствует результатам расчетов по измерениям, остальные брали для оценки зависимости пампинг-эффекта от амплитуды.

Таблица 2. Оценки пампинг-эффекта для различных участков

Профиль	Тип	Среднегодовая температура	Амплитуда колебаний	Оценка пампинг-эффекта
1	антр	0.88	5.95	1.89
			4.45	1.47
			4.95	1.59
	фоновый	-0.36	7.53	-2.15
			6.03	-1.71
			6.53	-1.86

2	антр	1.74	4.68	0.63
			3.18	0.61
			5.68	0.35
	фон	2.23	4.30	1.55
			2.8	0.58
			3.3	0.82
3	антр	-0.75	5.30	2.36
			12.34	-3.25
			10.84	-2.55
	фон	-1.69	11.34	-2.75
			13.34	-3.65
			13.17	-3.02
4	антр	1.02	11.67	-2.61
			12.17	-2.74
			14.17	-3.28
	фон	-0.56	7.02	-1.85
			5.52	-1.68
			6.02	-1.79
5	антр	1.74	8.02	-1.99
			11.54	-3.8
			10.04	-3
	фон	2.69	10.54	-3.2
			12.54	-4.3
			5.16	-3.5
			3.66	-2.5
			4.16	-3
			6.16	-4.2
			Не удалось получить оценку ввиду малости корректных оценок коэффициента температуропроводности	

Выводы

1. Оценка коэффициента температуропроводности и поиск ее зависимости от температуры среды является ключевой в оценке нелинейной волновой диффузии тепла в почву.

3. Предварительные оценки по 3, 4 и 5 участку позволяют подтвердить вывод, полученный в работе (Зырянов, 2007) о том, что чем больше амплитуда колебаний на поверхности почвы, тем холоднее почва на достаточно больших глубинах.

Список литературы

- Зырянов В.Н. 2007. Антипотепление глубинных слоев Мирового океана. – Океанология, № 5, с. 666-673.
- Зырянов В.Н. 2013. Нелинейный пампинг-эффект в колебательных процессах в геофизике. – Водные ресурсы, № 3, с. 227-239.
- Зырянов В.Н., Круглихин С.А. 2016. Нелинейная задача Стефана о росте льда при колебаниях температуры воздуха. – Процессы в геосредах, № 4(9), с. 318-326.
- Каверин Д.А., Лапина Л.Э., Пастухов А.В., Новаковский А.Б. 2019. Влияние

трансформации растительного и почвенного покровов на температуру почв при эксплуатации зимней дороги в Большеземельской тундре. – Криосфера Земли, № 1, с. 17-27.

Лапина Л.Э. 2019. Зависимость коэффициента температуропроводности от температуры среды. – В сборнике трудов международной научной конференции «Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы». – М., КДУ «Добросвет», с. 748-751. URL: <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.91304.0065>, <https://bookonlime.ru/node/4660>.

Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми. 2014. – Сыктывкар, 204 с.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ТЕРМОАБРАЗИОННОГО БЕРЕГА В РАЙОНЕ С. ЛОРИНО (БЕРИНГОВО МОРЕ, ЧУКОТСКИЙ АО)

А.А. Маслаков, Н.Н. Шабанова

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1; alexey.maslakov@geogr.msu.ru

Аннотация. В работе представлены результаты мониторинга участка термоабразионного берега в районе с. Лорино Чукотского АО за период 1967-2019 гг. Высота, положение бровки и основания берегового уступа определялись с использованием архивных планов застройки села, космических снимков сверхвысокого разрешения, полевой тахеометрической съёмки, а также с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Полученные данные о динамике береговой линии были сопоставлены с величиной ветроэнергетического потенциала, т.е. энергией морских волн, подходящих к берегу. Было выявлено, что за период 1967-2010 гг. скорость отступления не превышала 0.5 м/год, а в 2010-2017 гг. интенсивность разрушения берега выросла практически на порядок (1.3-4.2 м/год). Результаты мониторинга положения бровки берегового уступа в последние годы (2018, 2019) демонстрируют небольшое снижение скорости отступления до 1.2-1.9 м/год. Сравнение динамики берега и ветроэнергетического потенциала показывают хорошую связь двух параметров, что открывает перспективу прогнозирования скоростей отступления берегового уступа в районе с. Лорино.

Ключевые слова. Термоабразия, термоденудация, Арктика, Чукотка, побережье, многолетнемёрзлые породы.

Abstract. The study presents the results of sea coast monitoring near Lorino village (Chukotsky AO) for 1967-2019. Bluff height, edge and base positions were defined using archival topographic plans, satellite imagery of extra-high resolution, geodetic measurements, and UAV. Acquired data on coastlines position were compared with wind energy potential value (energy of sea waves, affecting the coast section). The study revealed that for 1967-2010 coastal erosion rates did not exceed $0.5 \text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$, while for 2010-2017 the intensity of coastal destruction has increased in an almost order (1.3-4.2 $\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$). The results of coastal monitoring in recent years (2018, 2019) indicate slight declining of coastal erosion rate to 1.2-1.9 $\text{m}\cdot\text{a}^{-1}$. The comparison of coastal dynamics

with wind energy potential demonstrate good correspondence of both parameters. This fact gives a prospect for forecasting of coastal erosion rate near Lorino village.

Keywords. Thermal abrasion, thermodenudation, the Arctic, Chukotka, coast, permafrost.

Отступление морских берегов, сложенных многолетнемёрзлыми породами, является важным звеном в круговороте пресной воды, наносов и углерода в береговой зоне Арктики. Это явление также затрагивает вопросы экономического развития северных территорий, поскольку береговые процессы могут влиять на устойчивость инженерных сооружений и объектов инфраструктуры. Для количественной оценки текущих и прогнозных скоростей отступления арктических берегов необходимо проведение мониторинговых исследований на ключевых участках, а также определение ведущих факторов, определяющих скорости и характер проявления береговых разрушительных процессов.

Одним из ключевых пунктов по изучению динамики берега в Российской Арктике является участок берега в пределах села Лорино (Чукотский АО), расположенного на западном побережье Берингова моря (рис. 1). Село расположено на останце морской террасы высотой 10-22 метра н.у.м., сложенной в основном переслаивающимися песками с включениями гальки ледниково-морского генезиса (Иванов, 1986). С поверхности отложения террасы перекрыты супесью. В центральной части берегового уступа обнаруживается линза торфа мощностью до 4 м с включениями повторно-жильных льдов (рис. 2). Ширина останца, подвергающегося размыву, составляет 750 метров.

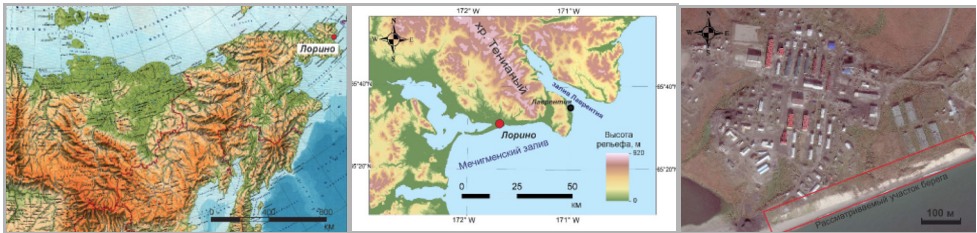


Рисунок 1. Расположение изучаемого участка берега (Маслаков, 2019)

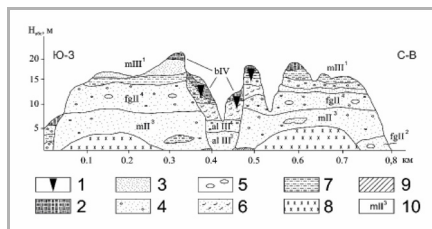


Рисунок 2. Геологический разрез берегового уступа в с. Лорино (Иванов, 1986; Маслаков, 2019).

Разрушение берега происходит путём осыпания берегового уступа и удаления волнами склоновых отложений во время штормовых нагонов. После штормов в основании уступа часто образуются волноприбойные ниши глубиной до 1 метра.

Около 80% берегов Берингова моря являются абразионными, однако в отличие от остального побережья, для участка берега в с. Лорино существует

ряд архивных планов застройки, позволяющих с высокой точностью восстановить положение берегового уступа с 1967 по 1992 гг. В 2010-х гг. мониторинг участка берега осуществлялся при помощи спутникового снимка GeoEye с разрешением 0.5 м, БПЛА, а также с привлечением полевой геодезии (Маслаков, 2019).

Для анализа факторов динамики участка берега, с 1979 по 2019 гг. были рассчитаны ежегодные вариации периода открытой воды и ветро-энергетического потенциала – синтетического параметра, характеризующего количество волновой энергии, приходящей к берегу со стороны моря (Попов, Совершаев, 1981; Shabanov et al., 2018).

Результаты исследований показывают стремительный рост скоростей отступления участка берега за 2010-2017 гг. по сравнению с 1967-2010 гг. и небольшое затухание интенсивности разрушения берега за 2017-2019 гг. (рис. 3).

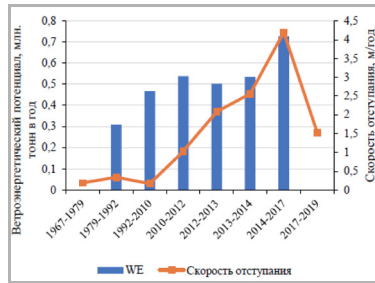


Рисунок 3. Динамика скорости отступления берега в районе с. Лорино за 1967-2019 гг., сопоставленная с суммарным годовым значением ветроэнергетического потенциала, осреднённые по периодам

Анализ спутниковых данных о концентрации морского льда Национального центра снега и льда (NSIDC), в сетке 25 км за период 1979-2017 позволил восстановить динамику длительности периода открытой воды для участка берега в с. Лорино. Методика расчёта периода открытой воды описана в работе Shabanov, Shabanova, 2019. К сожалению, массив информации по ледовой обстановке последних лет пока не выложен Национальным центром в общий доступ, поэтому часть данных на рис. 3 отсутствует.

Было выявлено, что в среднем за период 1979-2017 гг. весеннее разрушение ледяного покрова происходило раньше со скоростью 7.3 дня/10 лет. Становление ледяного покрова осенью опаздывало в среднем на 5.4 дня/10 лет. Такое увеличение длительности периода открытой воды не могло не отразиться в энергии морских волн, подходящих к берегу – ветроэнергетическом потенциале WE (Попов, Совершаев, 1981), который рассчитывался по формуле (1):

$$WE = 3 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 \cdot x \quad (1),$$

где: WE – ветроэнергетический потенциал за 1 секунду на 1 п.м. берега (тонн/с, среднее значение за период открытой воды); V – скорость ветра выбранного румба на высоте 10 м (м/с); x – длина разгона волн (км).

Стоит оговориться, что ветроэнергетический потенциал (WE) нельзя считать точной характеристикой волновой энергии, приходящей к берегу. Этот показатель скорее является условной величиной, отражающей интенсивность волнового воздействия на побережье.