

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет**

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
член-корр. РАН Добролюбов С.А.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ОСНОВЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки:
05.04.02 «География»

Направленность (профиль) ОПОП:
«Криолитология и гляциология»

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол № 12, дата 8 декабря 2021 г.)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «География» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована без разрешения факультета.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по Прикладной математике, Гляциологии, Климатологии с основами метеорологии.
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<p>МПК-4. (формируется частично) владение численными методами изучения гляциальных процессов, способность применять навыки в использовании численного моделирования для оценки состояния и прогноза развития гляциальных систем</p>	<p>Способен работать с гляциологическими моделями самостоятельно.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные физические процессы в гляциологии (базовая механика сплошных сред, кинематика, реология льда, роль жидкой воды в движении ледника); - основные численные решения, на которых базируются климатические/гляциологические модели; - базовые уравнения, на которых основаны модели ледников; - принципы моделирования баланса массы; - принципы моделирования динамики ледников; <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - объяснять принципы движения и динамики ледников; - объяснять основные принципы моделирования ледников; - разбираться во входных данных и граничных условиях для гляциологической модели; - работать с численными моделями; - создавать простейшие модели – климатические и гляциологические; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методологией математических исследований в области гляциологии и мерзлотоведения; - навыками выведения уравнений из теории; - навыками базового дизайна простого проекта моделирования в предметной области.

4. Объем дисциплины (модуля) 3 з.е., в том числе 39 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 69 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой	Практическая работа по гляциологическим расчетам	Всего
Тема 1. Введение	4	2				2	2		2
Тема 2.	6	2				2	2	2	4
Тема 3.	4	2				2	2		2
Тема 4.	8	2	2			6	2	2	4
Текущая аттестация 1: тест	1		1			1			
Тема 5.	10	2	2			4	2	4	6
Тема 6.	2	2				2			

Тема 7.	4	2				2	2		2	
Тема 8.	7	2				2	2	3	5	
Тема 9.	6	2		1	1	4	2		2	
Тема 10.	8	2				2	2	4	6	
Тема 11.	4	2				2	2		2	
Тема 12.	16	2	6			8	2	6	8	
Текущая аттестация №2. Доклад с презентацией	2		2							
Промежуточная аттестация экзамен	26	<i>Устный экзамен</i>					26			
Итого	108	39					69			

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Тема 1. Повторение высшей математики и механики сплошных сред. Введение в численное моделирование.

Тема 2. Климатические модели. Моделирование баланса энергии.

Тема 3. Введение в динамику ледников. Тензоры напряжений и скорости деформации.

Тема 4. Реология ледников. Закон Глена.

Тема 5. Моделирование ледниковых щитов. Уравнение идеальной пластичности, приближение мелкого льда.

Тема 6. Термодинамика ледников.

Тема 7. Моделирование ледовых шельфов. Взаимодействие шельфов с океаном.

Тема 8. Моделирование долинных ледников. Основные уравнения и принятые упрощения.

Тема 9. Субгляциальные процессы. Моделирование гидрологии ледников. Скорость скольжения по ложу. Ледниковые потоки.

Тема 10. Моделирование айсбергообразования.

Тема 11. Методы моделирования моренного покрова ледников.

Тема 12. Глобальные модели горного оледенения. Базы данных для моделирования ледников на региональном уровне.

Содержание и план семинаров

1. Провести расчеты баланса энергии на данных с ледника Стургласиарен, Швеция.

2. Создать модель ледникового щита в приближении идеальной пластичности в среде Python.
3. Изучить приближение мелкого льда с помощью модели GRANTISM.
4. Провести валидацию метода масштабирования площади и объема на основе литературы.
5. Провести анализ глобальных климатических данных в среде Python.
6. Проанализировать эволюцию ледников с помощью модели OGGM.

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):

Текущая аттестация №1. Тест

Текущая аттестация №2. Доклад с презентацией

Примерный перечень вопросов для экзамена

1. Методы моделирования баланса массы.
2. Тензор напряжений. Тензор скорости деформации.
3. Закон Глена. Поле скоростей в леднике. Профиль скорости льда в двухмерном случае.
4. Законы сохранения массы, момента и энергии в применении к леднику.
5. Аппроксимации. Приближение мелкого льда.
6. Метод конечных элементов.
7. Термодинамика ледников. Сохранение энергии. Радиационный баланс на поверхности ледника.
8. Субгляциальные процессы. Гидрология. Виды подледных гидрологических систем. Гидравлический потенциал. Методы моделирования гидрологии ледников.
9. Трещины. Методы моделирования айсбергообразования.
10. Моделирование динамики шельфового ледника. Взаимодействие шельфового ледника и океана.
11. Нижняя граница шельфового ледника. Моделирование линии налегания.
12. Методы моделирования скорости скольжения ледника по ложу.
13. Методы моделирования долинных ледников. Уравнения движения ледников вдоль осевой линии.
14. Архитектура глобальных гляциологических моделей.
15. Инверсия: аналитические методы расчета толщины ледника по доступным данным.

Шкала и критерии оценивания

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Знания (виды оценочных средств: контрольные работы, доклады, устный опрос)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: доклады, рефераты, контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: доклады, устный опрос)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

- Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. Избранные сочинения в 6-ти книгах. Кн.2 – М., Наука, 2004, 448 с.
- Hooke, R.LeB., 2005. Principles of glacier mechanics. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
- Van der Veen, C. J. (2013). Fundamentals of glacier dynamics. CRC press.
- Greve R. and Blatter H. (2009) Dynamics of Ice Sheets and Glaciers. Springer.

Дополнительная литература:

- 1) Abramowitz, M. and I. A. Stegun. 1970. Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. Dover Publications, New York, NY, USA.
- 2) Benn and Evans (2010) *Glaciers and Glaciation*.
- 3) Bronshtein, I. N., K. A. Semendyayev, G. Musiol and H. Muehlig. 2004. Handbook of Mathematics. Springer, Berlin, Germany etc., 4th ed.
- 4) Farinotti, D., Brinkerhoff, D., Clarke, G. K., Furrst, J. J., Frey, H., Gantayat, P., Gillet-Chaulet, F., Girard, C., Huss, M., Leclercq, P. W., et al. (2016). How accurate are estimates of glacier ice thickness? results from itmix, the ice thickness models intercomparison experiment. *The Cryosphere Discussions*.
- 5) Farinotti, D., Huss, M., Bauder, A., Funk, M., and Truffer, M. (2009). A method to estimate the ice volume and ice-thickness distribution of alpine glaciers. *Journal of Glaciology*, 55(191):422–430.
- 6) Farinotti, D., Huss, M., Furrst, J. J., Landmann, J., Machguth, H., Maussion, F., and Pandit, A. (2019). A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on earth. *Nature Geoscience*, 12(3):168–173
- 7) Glen, J.W., 1955. The creep of polycrystalline ice. *Proc. Roy. Soc. Lond. A*228 (1175), 519–538.
- 8) Heinbockel, J. H. 1996. *Introduction to Tensor Calculus and Continuum Mechanics*. Trafford Publishing, Victoria, BC, Canada and Oxford, UK. ISBN 1-55369-133-4. Free online version available at <http://www.math.ou.edu/~jhh/counter2.html> (retrieved 2009-0311).
- 9) Hindmarch R.C.A. (2004) A numerical comparison of approximations to the Stokes equations used in ice sheet and glacier modeling, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 109, F01012, doi:10.1029/2003JF000065
- 10) Hock, R. (2003). Temperature index melt modelling in mountain areas. *Journal of hydrology*, 282(1-4):104–115.
- 11) Huss, M. and Farinotti, D. (2012). Distributed ice thickness and volume of all glaciers around the globe. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 117(F4).
- 12) Huss, M. and Hock, R. (2015). A new model for global glacier change and sea-level rise. *Frontiers in Earth Science*, 3:54.
- 13) Huss, M. and Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. *Nature Climate Change*, 8(2):135–140
- 14) Hutter, K. (1983). The application of the shallow-ice approximation. In *Theoretical Glaciology*, pages 256–332. Springer.
- 15) Hutter, K. 1983. *Theoretical Glaciology; Material Science of Ice and the Mechanics of Glaciers and Ice Sheets*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands.
- 16) Hutter, K. and K. Jöhnk. 2004. *Continuum Methods of Physical Modeling*. Springer, Berlin, Germany etc.
- 17) Hutter, K. (2017). *Theoretical glaciology: material science of ice and the mechanics of glaciers and ice sheets, volume 1*. Springer.
- 18) Ландау, Л. и Лифшиц, Е. (1986). *Теоретическая физика. Т. vi. Гидродинамика*. М: Наука.
- 19) Liu, I.-S. 2002. *Continuum Mechanics*. Springer, Berlin, Germany etc.
- 20) Maussion, F., Butenko, A., Champollion, N., Dusch, M., Eis, J., Fourteau, K., Gregor, P., Jarosch, A. H., Landmann, J., Oesterle, F., et al. (2019). The open global glacier model (oggm) v1. 1. *Geoscientific Model Development*, 12(3):909–931.

- 21) Nye, J. F. 1957. The distribution of stress and velocity in glaciers and ice sheets. Proceedings of the Royal Society London A, 239 (1216), 113–133. doi:10.1098/rspa.1957.0026.
- 22) Oerlemans, J. (1996). Modelling the response of valley glaciers to climatic change. ERCA, 2:91–123.
- 23) Oerlemans, J. (1997). A flowline model for nigardsbreen, norway: projection of future glacier length based on dynamic calibration with the historic record. Annals of Glaciology, 24:382–389.
- 24) Oerlemans, J. and Nick, F. M. (2005). A minimal model of a tidewater glacier. Annals of Glaciology, 42:1–6.
- 25) Paterson, W. S. B. 1994. The Physics of Glaciers. Pergamon Press, Oxford, UK etc., 3rd edition.
- 26) Pfeffer, W. T., Arendt, A. A., Bliss, A., Bolch, T., Cogley, J. G., Gardner, A. S., Hagen, J.-O., Hock, R., Kaser, G., Kienholz, C., et al. (2014). The randolph glacier inventory: a globally complete inventory of glaciers. Journal of Glaciology, 60(221):537–552.
- 27) Рыбак О.О. (2008) МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ЛЕДНИКОВЫХ ЩИТОВ. 1. АРХИТЕКТУРА МОДЕЛЕЙ, Криосфера Земли, т. XII, № 1, с. 12–23
- 28) Zekollari, H., Huss, M., and Farinotti, D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the european alps under the euro-cordex rcm ensemble. The Cryosphere, 13(4):1125–1146.

- Перечень лицензионного программного обеспечения
Не требуется
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
Сайт кафедры криолитологии и гляциологии - <http://www.geogr.msu.ru/cafedra/crio/uchd/plan/>
Glaciers online - <http://www.swisseduc.ch/glaciers/index-en.html>
База гляциологических данных - <http://www.webgeo.ru/glac.php>
Книги по гляциологии - <http://www.webgeo.ru/index.php?r=50> 2013
Сайт журнала «Криосфера Земли»
<http://www.izdatgeo.ru/index.php?action=journal&id=2>
сайт журнала The Cryosphere
<http://www.the-cryosphere.net/index.html>
сайт журнала «Лёд и Снег»
<http://ice-snow.igras.ru/jour/issue/archive>
Сайт гляциологического общества
<https://www.igsoc.org/>
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)

- поисковая система научной информации www.scopus.com
- электронная база научных публикаций www.webofscience.com

- Описание материально-технической базы
Учебная аудитория с мультимедийным проектором

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Дымова Таисия Николаевна.

11. Разработчик программы: Доцент кафедры криолитологии и гляциологии Петраков Дмитрий Александрович