

**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 высшей математике, гляциологии, основам метеорологии и климатологии.
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 простыми гляциологическими моделями самостоятельно.</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - принципы построения и типовую архитектуру математических моделей ледников; - основные физические процессы в гляциологии (деформация и реология льда, энергообмен ледников и окружающей среды, роль жидкой воды в движении ледника); - принципы моделирования энергетического баланса и баланса массы; - принципы моделирования динамики ледников; - базовые уравнения, на которых основаны модели ледников; - простые численные методы, применяемые в гляциологическом моделировании; - основные типы математических моделей ледников и ледниковых щитов. <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 гляциологических моделей различных типов; - работать с простыми численными моделями; - создавать отдельные блоки гляциологических моделей и простейшие модели в целом; <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - методологией построения математических моделей ледников и ледниковых щитов; - навыками постановки численных экспериментов.

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.	1	1				1			
Тема 2.	2	1	1			2	2		2
Тема 3.	3	1	2			3	2	2	4
Тема 4.	6	2	4			6	2	2	4
Текущая аттестация 1: тест	1		1			1			
Тема 5.	6	2	4			6	2	2	4
Тема 6.	6	2	4			6	2	2	4
Тема 7.	6	2	4			6	2	2	4

Тема 8.	6	2	4			6	2	2	4	
Текущая аттестация №2. Доклад с презентацией	2		2							
Промежуточная аттестация экзамен	39	<i>Устный экзамен</i>					26			
Итого	108	39					69			

Содержание лекций, семинаров

Тема 1. Базовые принципы построения математических моделей горных ледников и ледниковых щитов. Типичная архитектура модели горного ледника. Модельные блоки, взаимодействие между блоками.

Тема 2. Климатический блок модели. Астрономические факторы формирования радиационных потоков. Энергетический баланс на поверхности ледника. Радиационные факторы энергетического баланса. Расчет коротковолновой радиации. Расчет длинноволновой радиации. Фактор облачности. Радиационный баланс как основной фактор, определяющий поверхностное таяние. Расчет температуры воздуха и осадков.

Тема 3. Масс-балансовый блок. Потоки турбулентного тепла. Влияние поверхностной морены на энергообмен поверхности ледника.

Тема 4. Динамический блок. Базовые определения механики сплошных сред и основы тензорного исчисления. Тензоры напряжения и скоростей деформации. Реология ледников и Закон Глена. Уравнения течения льда. Упрощения. Приближение мелкого льда. Разница в описании динамики горных ледников и ледниковых щитов. Вода в леднике. Базальное таяние. Поток геотермического тепла. Скольжения ледника по ложу.

Тема 5. Глобальные гляциологические модели. Область применения. Принципы функционирования и базовая архитектура. Основные уравнения. Глобальные базы данных.

Тема 6. Минимальная модель Урлеманса. Область применения. Базовые уравнения. Постановка численных экспериментов. уравнения и принятые упрощения.

Тема 7. Численные методы решения уравнений динамики ледников. Метод конечных разностей. Разностные схемы. Модельные коды. Эйлеров, лагранжев и полулагранжев подход к решению уравнений.

Тема 8. Комплексные модели ледниковых щитов. Базовая архитектура и уравнения динамики и термодинамики. Взаимодействие с климатом и литосферой. Динамика шельфовых ледников Антарктиды. Миграция линии налегания. Постановка численных экспериментов.

Содержание и план семинаров

1. Провести расчеты потоков коротковолновой и длинноволновой радиации на ледниках Джанкуат (Центральный Кавказ), Карабаткак и Сары-Тор (Внутренний Тянь-Шань)
2. Построить простую модель поверхностного баланса массы ледников Джанкуат (Центральный Кавказ), Карабаткак и Сары-Тор (Внутренний Тянь-Шань)
3. Разбор работы и построение простого варианта глобальной гляциологической модели GloGEMflow-debris
4. Разбор работы и построение простого варианта минимальной модели Урлеманса
5. Работа с некоторыми типичными разностными схемами для одномерного случая
6. Метод переменных направлений для расчета поля толщины льда.
7. Постановка простых численных экспериментов по изучению закономерностей миграции линии налегания (задачи из тестов MISMP)

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. Астрономические факторы формирования радиационных потоков
2. Энергетический баланс на поверхности ледника
3. Расчет коротковолновой радиации
4. Расчет длинноволновой радиации
5. Расчет радиационного баланса на поверхности горного ледника
6. Масс-балансовая модель чистой ледниковой поверхности
7. Влияние поверхностной морены на энергообмен поверхности ледника
8. Тензоры напряжения и скорости деформации
9. Реология ледников и Закон Глена
10. Законы сохранения массы, момента и энергии в применении к леднику
11. Уравнения течения льда. Аппроксимации.
12. Приближение мелкого льда.

13. Базальное таяние и скольжение ледника по ложу.
14. Поле скоростей в леднике. Профиль скорости льда в двумерном случае.
15. Принципы функционирования и базовая архитектура глобальных гляциологических моделей
16. Минимальная модель Урлеманса
17. Метод конечных разностей. Разностные схемы.
18. Эйлеров, лагранжев и полулагранжев подход к решению уравнений.
19. Архитектура комплексной модели покровного ледника. Основные уравнения
20. Разница в описании динамики горных ледников и ледниковых щитов
21. Взаимодействие покровного ледника с климатом и литосферой
22. Шельфовые ледники Взаимодействие шельфового ледника и океана.

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:

Монографии

1. Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. Избранные сочинения в 6-ти книгах. Кн.2 – М., Наука, 2004, 448 с.
2. Патерсон У.С.Б. Физика ледников (пер. с англ.) – М., Мир, 1984, 472 с.
3. Шумский П.А. Динамическая гляциология. Итоги науки. Гидрология суши, гляциология, 1968. М.: ВИНТИ, 1968.
4. Cuffey K.M., Paterson W.S.B. The Physics of Glaciers. (Fourth Edition). Amsterdam et al.: Elsevier, 2010, 715 p.
5. Iqbal M. An Introduction to Solar Radiation. Academic Press, Toronto et al., 1983, 389 p.
6. Lliboutry L.A. Very Slow Flow of Solids. Basics of Modeling in Geodynamics and Glaciology. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publ., 510 p
7. Oerlemans J. Minimal Glacier Models. Utrecht: Igitur Utrecht Publishing & Archiving Services, 2008 and 2011, 103 p.

Статьи

1. Постникова Т.Н., Рыбак О.О. Глобальные гляциологические модели: новый этап в развитии методов прогнозирования эволюции ледников. Часть 1. Общий подход и архитектура моделей. Лёд и Снег. 2021;61(4):620-636. <https://doi.org/10.31857/S2076673421040111>
2. Постникова Т.Н., Рыбак О.О. Глобальные гляциологические модели: новый этап в развитии методов прогнозирования эволюции ледников. Часть 2. Постановка экспериментов и практические приложения. Лёд и Снег. 2022;62(2):287-304. <https://doi.org/10.31857/S2076673422020133>
3. Рыбак О.О. Математические модели континентальных ледниковых щитов. 1. Архитектура моделей, Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 12–23

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. Bronshtein, I. N., K. A. Semendyayev, G. Musiol and H. Muehlig. 2004. Handbook of Mathematics. Springer, Berlin, Germany etc., 4th ed.
3. Farinotti, D., Huss, M., Fürst, 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
4. 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.odu.edu/~jhj/counter2.html> (retrieved 2009-0311).

5. 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
6. Hooke, R.LeB., 2005. Principles of glacier mechanics. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge.
7. Huss, M. and Hock, R. (2015). A new model for global glacier change and sea-level rise. Frontiers in Earth Science, 3:54.
8. Huss, M. and Hock, R. (2018). Global-scale hydrological response to future glacier mass loss. Nature Climate Change, 8(2):135–140
9. Hutter, K. (1983). The application of the shallow-ice approximation. In Theoretical Glaciology, pages 256–332. Springer.
10. Hutter, K. 1983. Theoretical Glaciology; Material Science of Ice and the Mechanics of Glaciers and Ice Sheets. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands.
11. Hutter, K. and K. J'ohnk. 2004. Continuum Methods of Physical Modeling. Springer, Berlin, Germany etc.
12. Hutter, K. (2017). Theoretical glaciology: material science of ice and the mechanics of glaciers and ice sheets, volume 1. Springer.
13. Greve R. and Blatter H. (2009) Dynamics of Ice Sheets and Glaciers. Springer.
14. Liu, I.-S. 2002. Continuum Mechanics. Springer, Berlin, Germany etc.
15. Oerlemans, J. (1996). Modelling the response of valley glaciers to climatic change. ERCA, 2:91–123.
16. 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.
17. Van der Veen, C. J. (2013). Fundamentals of glacier dynamics. CRC press.

- 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 - в.н.с. Института водных проблем РАН Рыбак Олег Олегович

11. Разработчики программы: доцент кафедры криолитологии и гляциологии Петраков Дмитрий Александрович и в.н.с. Института водных проблем РАН Рыбак Олег Олегович