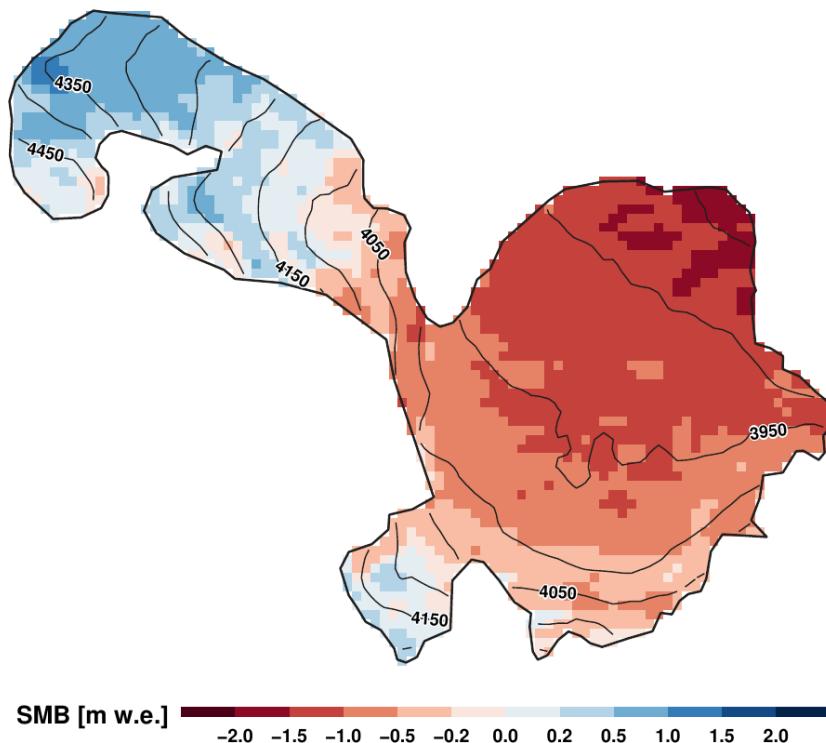


DMBSim v1.0

Tutorial 1: installation and simulation of single-year glacier mass balance



Enrico Mattea

enrico.mattea@unifr.ch

Russian translation by **Tomas Saks**

November 2021

1 Introduction

В первом уроке мы установим модель, а затем попытаемся смоделировать баланс массы ледника Якарча (Памир-Алай) в течение одного года (2020). Будем действовать следующим образом:

- Инсталляция **необходимых программ**
- Подготовка **вводных файлов** модели
- Настройка модельных **параметров**
- **Запуск модели.**

2 Инсталляция

Мы устанавливаем необходимые программы в следующем порядке: сначала **R**, затем **RStudio** и, наконец, **пакеты R**, которые используются моделью. Если вы уже установили какие-то из этих программ, вы можете пропустить соответствующие разделы. Чтобы установить все, вам потребуется подключение к Интернету и не менее 2 ГБ свободного места на диске. **Все шаги, указанные ниже, являются обязательными**, если какой-либо из них пойдет не так, вы должны исправить это, иначе модель не будет работать должным образом.

- **Загрузите и установите R.** Для операционной системы Windows загрузите установщик с [этой страницы](#). Для других операционных систем см. [целевая страница](#). После загрузки откройте программу установки и следуйте инструкциям до завершения установки
- **Загрузите и установите RStudio.** Перейдите в [эту страницу](#) и загрузите установщик, соответствующий вашей операционной системе (обычно Windows 10). Снова откройте установщик и продолжайте, пока RStudio не будет установлен.
- Для установки **необходимых пакетов R** мы используем программу *install_packages.R*, которую вы можете найти внутри *utils* | в папке модели. Откройте файл *install_packages.R* в RStudio и нажмите кнопку *Source* (рис. 1), чтобы запустить программу.

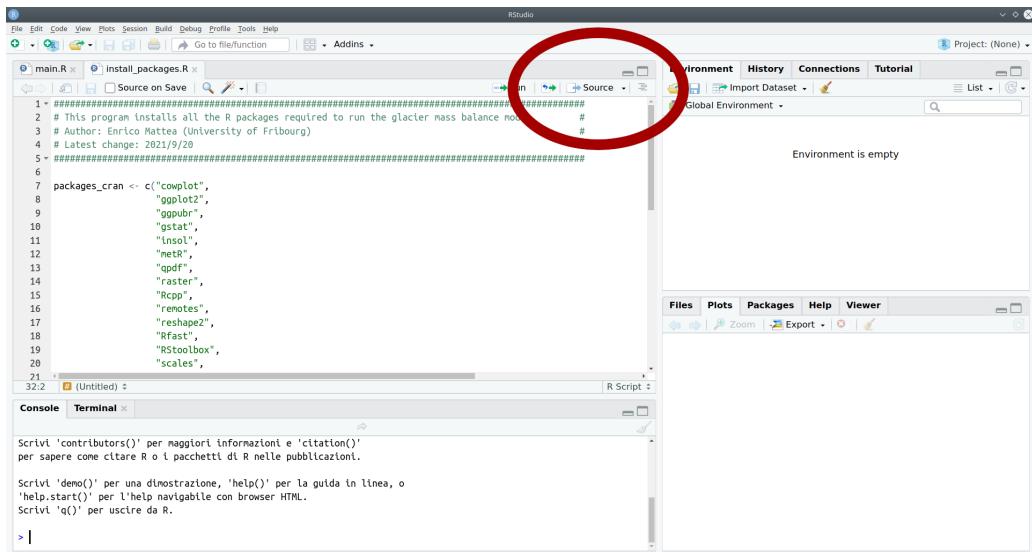


Рис. 1: Кнопка Source в RStudio.

- Программа загрузит и установит несколько пакетов **automatically**. Через некоторое время откроется новое окно для установки «Rtools»: просто нажмите «Next» и «Install», чтобы продолжить.
- Когда *install_packages.R* завершится (сообщение "All packages installed successfully!"), вам следует **закрыть RStudio**.

3 Входные файлы

3.1 Обзор

Для модели баланса массы мы должны предоставить некоторые входные данные. **Важно поместить входные данные в нужное место:** все входные данные должны быть **внутри папки модели** в папке с именем `input` . Там **создаем подпапку с названием ледника:** `input\yakarcha` . В названии ледника не должно быть **пробелов** (например, мы будем использовать `batysh_sook` вместо `batysh sook`). Теперь подготавливаем следующие входные данные для модели:

- текстовый файл с ежедневными **метеорологическими данными**
- текстовый файл с **измерениями баланса массы**
- **контур ледника** в векторном формате (шнейп-файл)
- **сетка высот** (называемая «DHM»: полный прямоугольник, покрывающий область ледника, без пропущенных значений)
- сетка типа **поверхность** (лед, фирн, снег)
- 365 файлов **суточной солнечной радиации.**

Первые два (метео и баланс массы) предоставляются вместе с этим руководством в папке `tutorial1_input\yakarcha` . Чтобы подготовить **последние четыре** (контур, отметка, тип поверхности и радиационные сетки) мы будем использовать программу `make_input.R`, расположенную в папке модели `utils` . Эта программа создаст и обработает файлы **автоматически**.

3.2 Метеорологические данные

Метеорологические данные записываются в простой текстовый файл с 5 колоннами: **год (year), день года (1-365)(day of year (1-365)), час (hour), температура(temperature), осадки (precipitation)** (рис. 2). Мы называем этот метео файл `weather_yakarcha.dat` и помещаем его в новую папку: `input\yakarcha\weather` . Модель работает с **суточным разрешением**: «temperature» - это среднесуточная температура, «precipitation» - общее суточное количество осадков (в миллиметрах, включая твердые и жидкые), а колонна «hour» имеет постоянное значение 12 ежедневно. Как вы можете видеть на рис. 2, **метео-файл может иметь текст комментария** в начале, чтобы объяснить, что находится внутри. Позже мы можем сказать модели игнорировать эти строки комментариев.

Примечание: в метео-файле должны быть **данные за каждый день**, который моделируется, иначе модель откажется от него. Модель всегда включает в себя **весь гидрологический год** (с 1 октября по 30 сентября). Модель также включает **весь измеренный период** на рейках. Мы хотим, чтобы 2020 модельный год был посещен 14.8.2019 и снова 13.9.2020. Тогда нам нужны хотя бы метеоданные на каждый день с 14.8.2019 по 30.9.2020. Эти метео данные, которые **должны присутствовать**, но в метеофайле также могут быть (в дополнение) **данные за другие дни / годы**: модель выберет правильные данные автоматически.

3.3 Измерения баланса массы

Измерения баланса массы записываются в простой текстовый файл с 8 колоннами: **имя точки** (без пробелов), **дата начала, дата окончания, координата X, координата Y, высота, измеренное изменение**

```

1 Yakarcha daily weather (virtual elevation 4000 m),
2 from ERA5 reanalysis (temperature corrected with lapse rate of -6.5 °C / km, precipitation untouched.
3 ERA original cell elevation: 2620.8 m
4 year doy hour t2m mean precip
5 2018 1 12 -17.7185480651166 0
6 2018 2 12 -14.6076480374782 0
7 2018 3 12 -11.8609889460022 1.39179517586388
8 2018 4 12 -14.7327949901437 4.10392266821068
9 2018 5 12 -17.4879757612759 2.5714413503746
10 2018 6 12 -17.9348769901036 0.0203597889974231
11 2018 7 12 -17.43855001927 3.51552476618514
12 2018 8 12 -17.8744948028253 2.10866334646316
13 2018 9 12 -17.952224695118 0.197489953275004
14 2018 10 12 -17.7166002526239 0.27282117256547
15 2018 11 12 -17.6719831727096 2.55230314871702

```

Рис. 2: Первые строки метео файла.

на рейке, измеренная плотность (Рис. 3). Мы называем этот файл *mb_yakarcha.dat* и помещаем его в новую папку: *input \yakarcha \massbalance*. Мы моделируем 2020 год, поэтому «дата начала» - лето 2019 г., «дата окончания» - лето 2020 г. Формат - «день.месяц.год», например 14.8.2019 для 14 августа 2019 г. **Обратите внимание**, что на (Рис. 3) некоторые измерения (J8, J9 и J10) имеют **специальную дату начала NA**: это используется для летних шурфов снега и зондирование снега, где «дата начала» обычно неизвестна (измеренное изменение в этом случае определяется от поверхности **в конце предыдущего сезона таяния**). Таким образом, для всех измерений с датой начала NA **модель автоматически устанавливает дату начала в конце предыдущего сезона таяния**.

Координаты X и Y должны быть **в метрах** (UTM: для Yakarcha мы используем зону UTM 42N, которая также называется EPSG: 32642). **измеренное изменение** указывается **в сантиметрах**, > 0 для аккумуляции и < 0 для абляции. **Плотность** выражается в г см^{-3} (вода = 1, лед = 0,9). Наши измерения на Якарче уже даны в сантиметрах водного эквивалента (см в.э.), поэтому мы используем плотность = 1.

1	J1	14.8.2019	13.9.2020	462352.2	4315323	3861	-184.5	1
2	J2	14.8.2019	13.9.2020	462306.8	4315214	3897	-143.1	1
3	J3	14.8.2019	13.9.2020	462391.6	4315047	3924	-195.4	1
4	J4	14.8.2019	13.9.2020	462160.3	4314959	3939	-149.5	1
5	J5	14.8.2019	13.9.2020	461830.9	4314790	3989	-107.1	1
6	J6	14.8.2019	13.9.2020	461683.5	4315132	4049	-107.9	1
7	J7	14.8.2019	13.9.2020	461357.0	4315641	4227	-1.3	1
8	J8	NA	13.9.2020	461268.0	4315671	4260	50.5	1
9	J9	NA	13.9.2020	460968.0	4315752	4327	97.5	1
10	J10	NA	13.9.2020	460963.0	4315585	4387	110.5	1
11								

Рис. 3: Файл с измерениями баланса масс.

3.4 Контур ледника

Контур ледника представляет собой многоугольник, ограничивающий поверхность ледника (рис. 6). Чтобы создать контурный шейп-файл, мы **рисуем его вручную** поверх спутникового изображения ледника, сделанного Sentinel-2. Скачиваем изображение с портала EarthExplorer. Чтобы нарисовать контур, мы используем программу **QGIS**, но вы также можете использовать ArcGIS или любую другую программу, которая вам нравится. **Примечание:** если у вас уже есть метод для создания шейп-файла контура ледника, вы можете использовать его вместо шагов, описанных ниже.

- Если у вас нет учетной записи в EarthExplorer, сначала создайте ее здесь: <https://ers.cr.usgs.gov/register>.
- Войдите в систему здесь: <https://ers.cr.usgs.gov/login>.

- Теперь перейдите на портал: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- По карте движемся к леднику ($38^{\circ} 59'$ северной широты, $68^{\circ} 34'$ восточной долготы).
- Щелкаем по трем точкам, чтобы нарисовать треугольник над ледником (рис. 4).

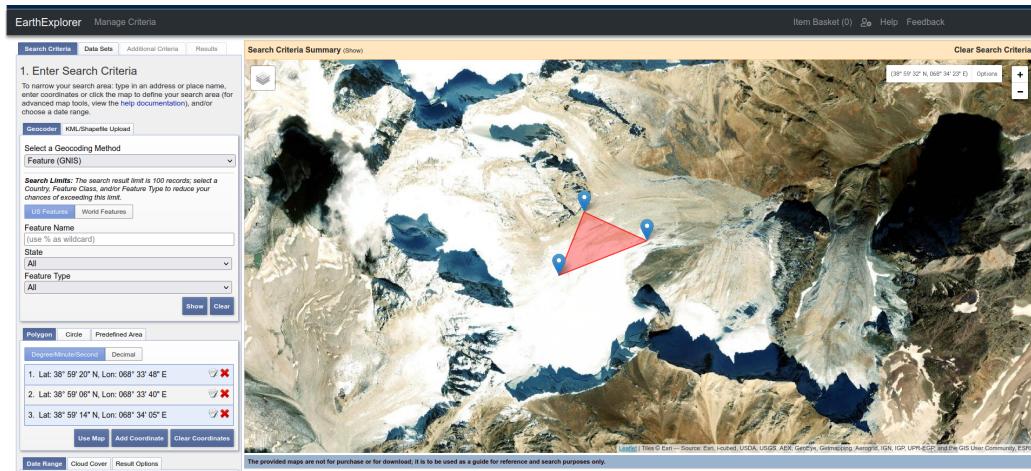


Рис. 4: Ледник Yakarcha в портале EarthExplorer.

- В левой колонне выбираем **Data range** → **Sentinel** → **Sentinel-2**, затем нажимаем **Results** (рис. 5).
- В левой колонке отображается список изображений на многих страницах. Мы выбираем тот, который называется *L1C_T42SVJ_A027301_20200913T060752*, с «датой приобретения» 2020/09/13, и загружаем «файл L1C в формате JPEG2000».
- Мы распаковываем zip-файл и открываем в QGIS, расположенный в папке GRANULE → *L1C_T42SVJ_A027301_20200913T060752* → *IMG_DATA* → *T42SVJ_20200913T06041.jp2*.
- В QGIS мы переходим к леднику и нажимаем **Layer** → **Create Layer** → **New Shapefile Layer**, тип геометрии **Polygon**, имя файла *outline_yakarcha_2020.shp*, система координат **EPSG: 32642**.
- Затем мы вручную обрисовываем контур ледника: нажимаем **Toggle Editing** и **Add Polygon Feature**, затем рисуем многоугольник по контуру ледника (рис. 6).
- Наконец, мы снова нажимаем **Toggle Editing** и сохраняем изменения.

Шейп-файл состоит из 5 отдельных файлов, которые заканчиваются на .shp, .shx, .dbf, .prj и .cpg. Мы держим их наготове, так как будем использовать их в следующих шагах.

3.5 DEM

Топография ледника определяется файлом DEM. Мы загружаем этот файл из EarthExplorer: процедура такая же, как и для изображения Sentinel-2 (см. выше), но файл находится в папке **Data Sets** → **NASA LPDAAC collections** → **ASTER collections** → **Aster Global DEM V3** (не забудьте **удалить** предыдущие наборы данных (**Sentinel** → **Sentinel-2**) перед тем, как нажать **Results**). Когда вы пытаетесь загрузить DEM, EarthExplorer может попросить вас войти в систему: в этом случае вы можете зарегистрировать [здесь](#). Скачиваем формат GeoTIFF и распаковываем archive.zip. Важным файлом является *ASTGTMV003_N38E068_dem.tif*, на данный момент мы оставим его там, где он есть: мы будем использовать его на следующем шаге.

Рис. 5: Портал EarthExplorer: выбор набора данных Sentinel-2.

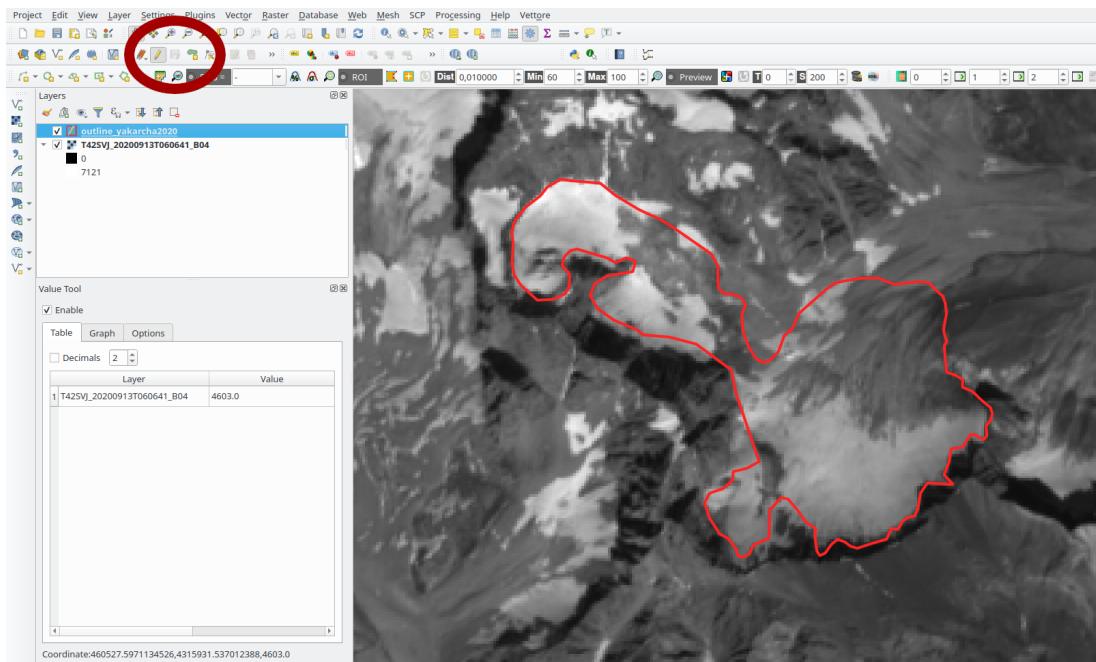


Рис. 6: Контуры ледника, начертанные в QGIS на снимке Sentinel-2. Красный кружок показывает кнопки **Toggle Editing** и **Add Polygon Feature**.

Примечание: если вы хотите использовать другую матрицу высот, вы можете взглянуть на [этот отличный список](#). Очень полезная служба загрузки глобальных DEM предоставляетя на веб-сайте [OpenTopography](#). Важно использовать матрицу высот с **no gaps / voids / NAs**, они не будут работать в модели баланса массы.

3.6 Программа *make_input.R*

Мы используем программу *make_input.R* для подготовки входных файлов, которые все еще отсутствуют.

Примечание: для этого **не нужно менять систему координат** любого файла: *make_input.R* всегда будет **настраивать** все системы координат **автоматически**.

- Сначала мы открываем с помощью RStudio файл *make_input.R* (внутри папки *utils*).
- Щелкаем на **Run App** (рис. 7).
- Открывается новое окно: **Mass balance model assistant**.
- Вводим **название ледника**. Это то же самое, что и папка, в которую мы помещаем входные файлы: *yakarcha*.
- Входим в **modeled year**: 2020.
- Нажимаем кнопку **Choose one or more input DEM files** и выбираем только что загруженный файл: *ASTGTMV003_N38E068_dem.tif*. Программа также может использовать **несколько входных файлов DEM** в случае, если ледник разделен на несколько частей: если вы предоставите более одного входного DEM, они будут объединены вместе перед обработкой.
- Мы нажимаем кнопку **Choose input glacier shapefile** и выбираем шейп-файл контура, который мы создали ранее: *outline_yakarcha_2020.shp*.
- Остальные кнопки не трогаем, в текстовом поле **выбираем размер поля** 100 м по контуру.
- Оставляем пустым **grid cell size**, он вычисляется автоматически. Мы также можем задать конкретный размер ячейки, написав значение (в метрах).
- Выбираем **Compute daily potential solar radiation** (**Вычислить суточную потенциальную солнечную радиацию**).
- Наконец, нажимаем кнопку **RUN!** (рис. 8).
- Программа теперь работает, это может занять несколько минут. Вы можете **следить за прогрессом в большом окне RStudio**.
- Когда программа завершится (уведомление **Processing finished (Обработка завершена)**), внутри папки *utils* появится новая папка с именем *yakarcha*. Она содержит папки *dhm*, *outline*, *radiation* и *surftype*. Мы **перемещаем** все это (всю папку *utils\yakarcha*) в папку *input\yakarcha*.
- В конце **входная папка выглядит как Рис. 9**: в *input\yakarcha* есть 6 папок (*dhm*, *massbalance*, *outline*, *радиация*, *surftype* и *weather*). Папка *outline* содержит шейп-файл, папка *радиация* содержит 365 радиационных расчетов (первая называется *dir00124.tif*), а остальные папки содержат только по 1 файлу.

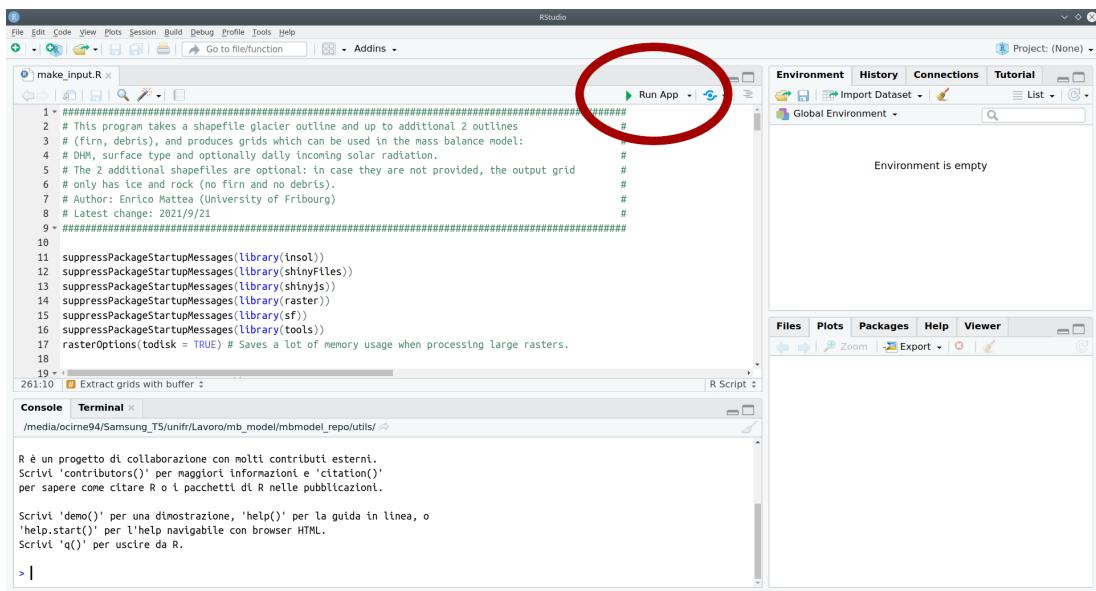


Рис. 7: Кнопка Run App в RStudio.

The screenshot shows the 'make_input.R' application running in a web browser at <http://127.0.0.1:3705>. The interface includes fields for 'Choose glacier name:' (yakarcha), 'Choose model year:' (2020), and several optional input buttons: 'Choose one or more input DEM files', 'Choose input glacier shapefile', 'Choose input firn shapefile (optional)', 'Choose input debris shapefile (optional)', and 'Choose reference grid file (optional)'. Below these are fields for 'Choose margin size around the outline, in meters:' (100) and 'Choose grid cell size in meters (leave blank for automatic cell size:)'. A checked checkbox says 'Compute daily potential solar radiation (SLOW!)'. Status messages at the bottom indicate: 'Glacier name selected.', 'Model year selected.', 'Input DEM file(s) selected.', 'Input outline file selected.', 'Input firn shapefile (optional) not yet selected.', 'Input debris shapefile (optional) not yet selected.', and 'Input reference grid file (optional) not yet selected.'. A large 'RUN!' button is at the bottom.

Рис. 8: Окно *make_input.R* после выбора данных готово для нажатия на RUN!

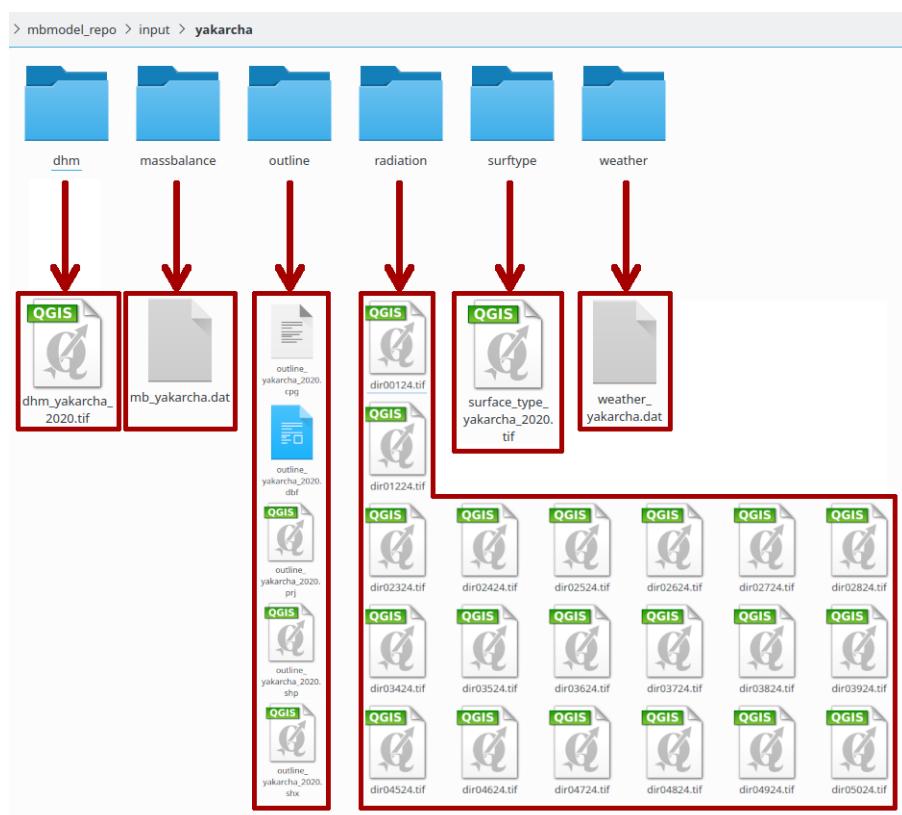


Рис. 9: Папка *input\yakarcha* | после подготовки всех входных данных.

4 Параметры модели

Параметры модели задаются в файле `set_params.R` в папке модели. Мы **открываем этот файл в RStudio** и устанавливаем параметры, как показано в таблице 1. Есть много других параметров, которые можно установить, но в этом первом моделировании мы устанавливаем только самые важные из них. При изменении параметров **важно сохранить тот же формат: кавычки ("") и запятые (,)** должны **оставаться прежними** или модель не будет работать.

Таблица 1: параметры модели, которые мы изменяем в этом уроке

Parameter name (Имя параметра)	Value (Значение)	Explanation (Пояснение)
name_glacier	"yakarcha"	имя ледника, это то же, что и папка в <code>input</code> \
filename_weather	"weather_yakarcha.dat"	Имя метео файла, которое мы установили в разделе 3.2
file_weather_nskip	4	Количество строк, которые нужно пропустить в метео-файле, есть 4 строки, которые не являются данными (рис. 2)
grids_crs	32642	EPSG код системы координат, 32642 - зона UTM 42N (рис. 10). Полный список кодов: здесь
filename_massbalance_annual	"mb_yakarcha.dat"	filename с годовыми измерениями баланса массы , который мы установили в разделе 3.3
filename_massbalance_winter	""	Имя файла с зимними измерениями баланса массы. У нас этого нет, поэтому мы оставляем его пустым ("")
weather_aws_elevation	4000	Высота метео данных. В файле Якарча указана высота 4000 м
first_year	2020	Первый год, который мы хотим смоделировать: 2020
last_year	2020	Последний год, который мы хотим смоделировать, мы хотим сделать только один год, так что это снова 2020

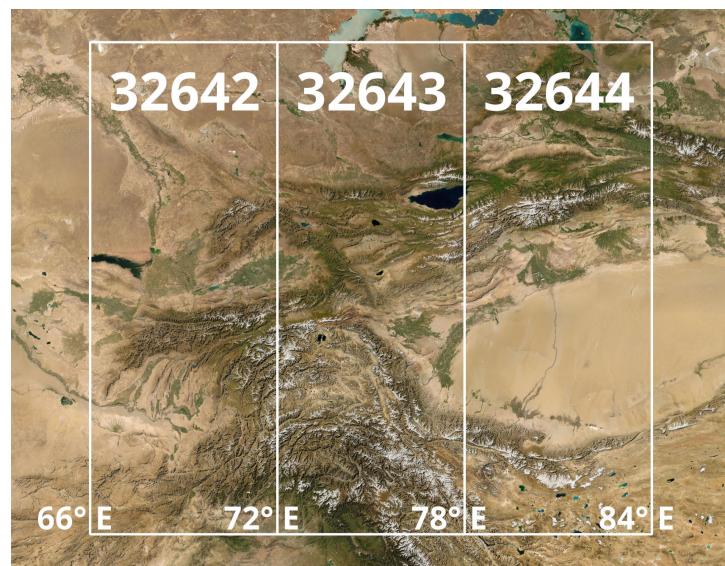


Рис. 10: **коды EPSG** зон УТМ в Центральной Азии с соответствующими долготными границами.

5 Запуск модели

После установки параметров мы можем запустить модель очень просто: мы просто открываем в RStudio файл `main.R` и нажимаем на *Source* (рис. 1). Пока модель работает, мы можем видеть прогресс в **консоли RStudio** (рис. 11). В консоли модель покажет в реальном времени результат симуляции, а также **любые сообщения об ошибках**. Все сообщения также записываются в **log file** (в `logs\`).

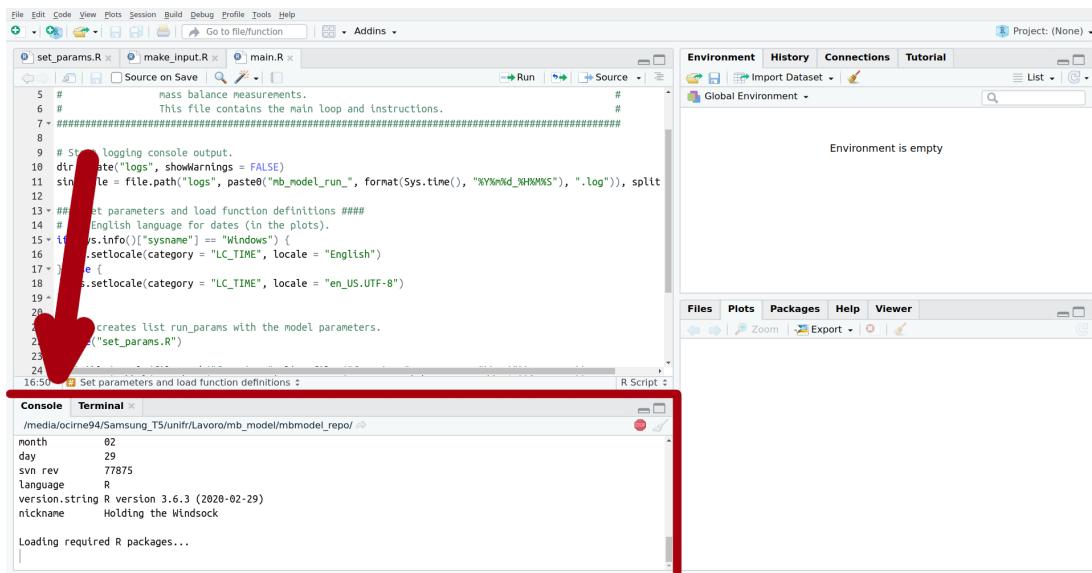


Рис. 11: **RStudio console** с информационными сообщениями, написанными моделью.

6 Выходные файлы

model output записывается в папку с именем *output\yakarcha*. Следующие **подробные результаты** представлены в файле *massbalance_2020.pdf*, в *output\yakarcha\Annual_results*:

- Карта баланса массы за гидрологический год (с 1 октября 2019 г. по 30 сентября 2020 г.).
- Карта баланса массы за период измерений (с 14 августа 2019 г. по 13 сентября 2020 г.).
- Карта баланса массы за годовой период измерений с **локальной коррекцией результата модели** на основе долей (метод контурных линий). Это называется "**Период измерения (годовой, скорректированный)**".
- Карта баланса массы за зимний период (с 1 октября 2019 г. по 30 апреля 2020 г.).
- Введите метеорологические ряды (температура и осадки).
- Суточные временные ряды **баланса массы по всему леднику**, также с отдельными компонентами таяния и накопления.
- Ежедневные объемы талых вод и осадков, которые можно сравнить с измерениями стока.
- Высотные профили баланса масс, также в сравнении с измерениями рейки
- Ежедневный временной ряд баланса массы на рейках.

карты баланса массы также записываются в отдельные файлы GeoTiff (пример: *mb_annual_hydro_-2020.tif*), которые можно использовать в QGIS или ArcGIS. Остальные значения, включая **суточное и общее таяние, накопление, баланс массы и rainfall**, записываются в текстовые файлы CSV (пример: *mb_daily_-series_glacier_2020.csv*).

Модель также превращает **сводку результатов** в два **обзорных файла**: *output\yakarcha_overview.pdf* и *output\yakarcha_overview_areaplot.pdf*.