

Расчет снегонакопления в бассейне р. Селенги на основе данных глобальных численных моделей атмосферы с верификацией по спутниковым данным

А.Н. Шихов¹, А.А. Аюржанаев², В.Н. Черных², С.В. Пьянков¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет,
г. Пермь, ул. Букирева, 15
e-mail: gis@psu.ru

²Байкальский институт природопользования СО РАН,
Г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, e-mail: bz61@binm.ru

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 20-17-00207

Актуальность

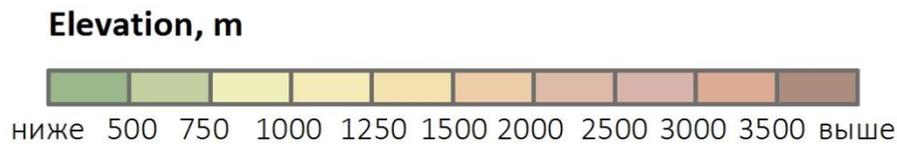
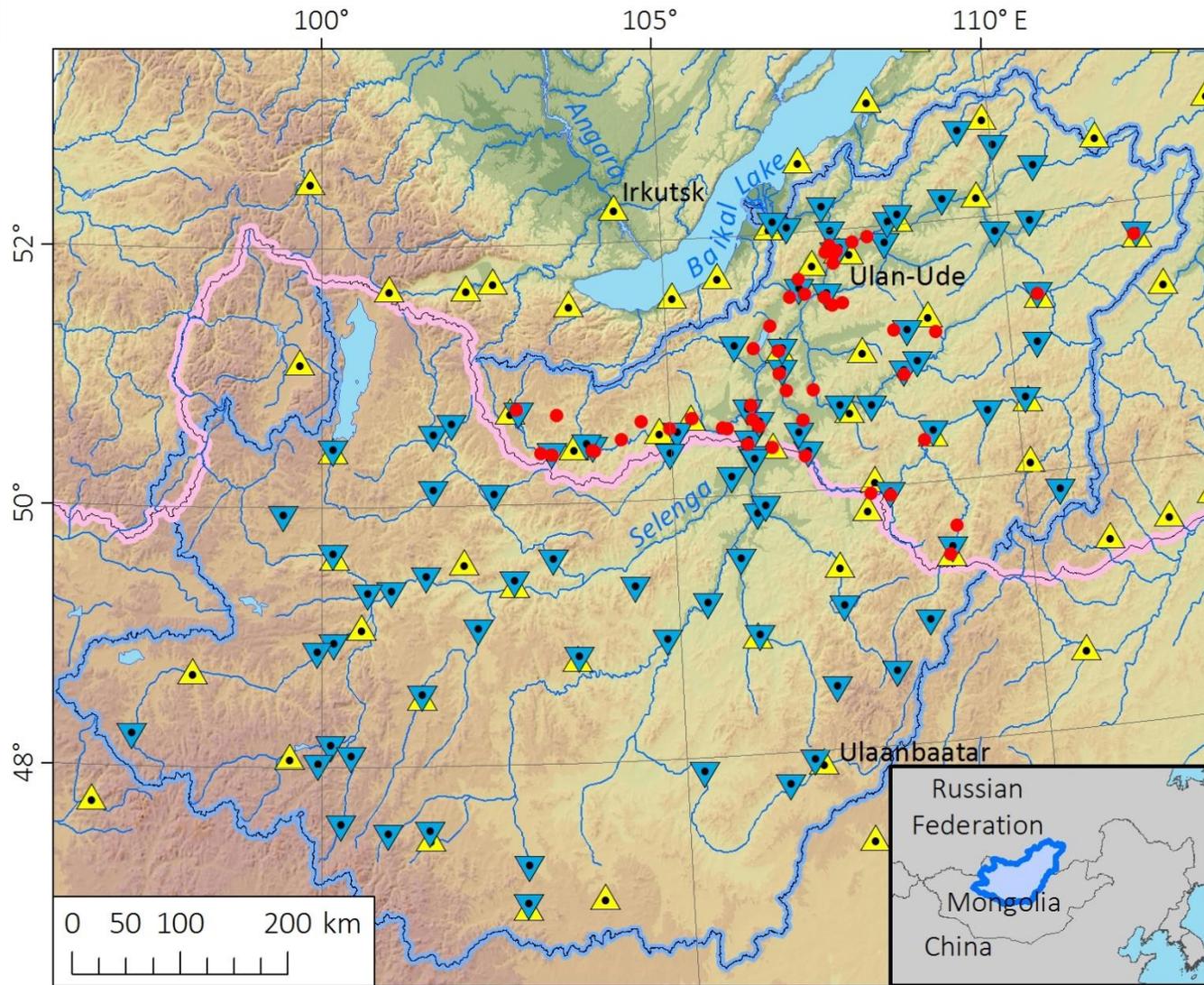
- Расчеты снегонакопления с применением данных моделей ЧПП проводится, как правило, для крупных речных бассейнов, в которых вклад снегового половодья в годовой объем стока достигает 50% и более, или для бассейнов горных территорий. Для речных бассейнов семиаридной зоны с маломощным и неустойчивым снежным покровом опыт таких исследований незначителен.

Цель исследования

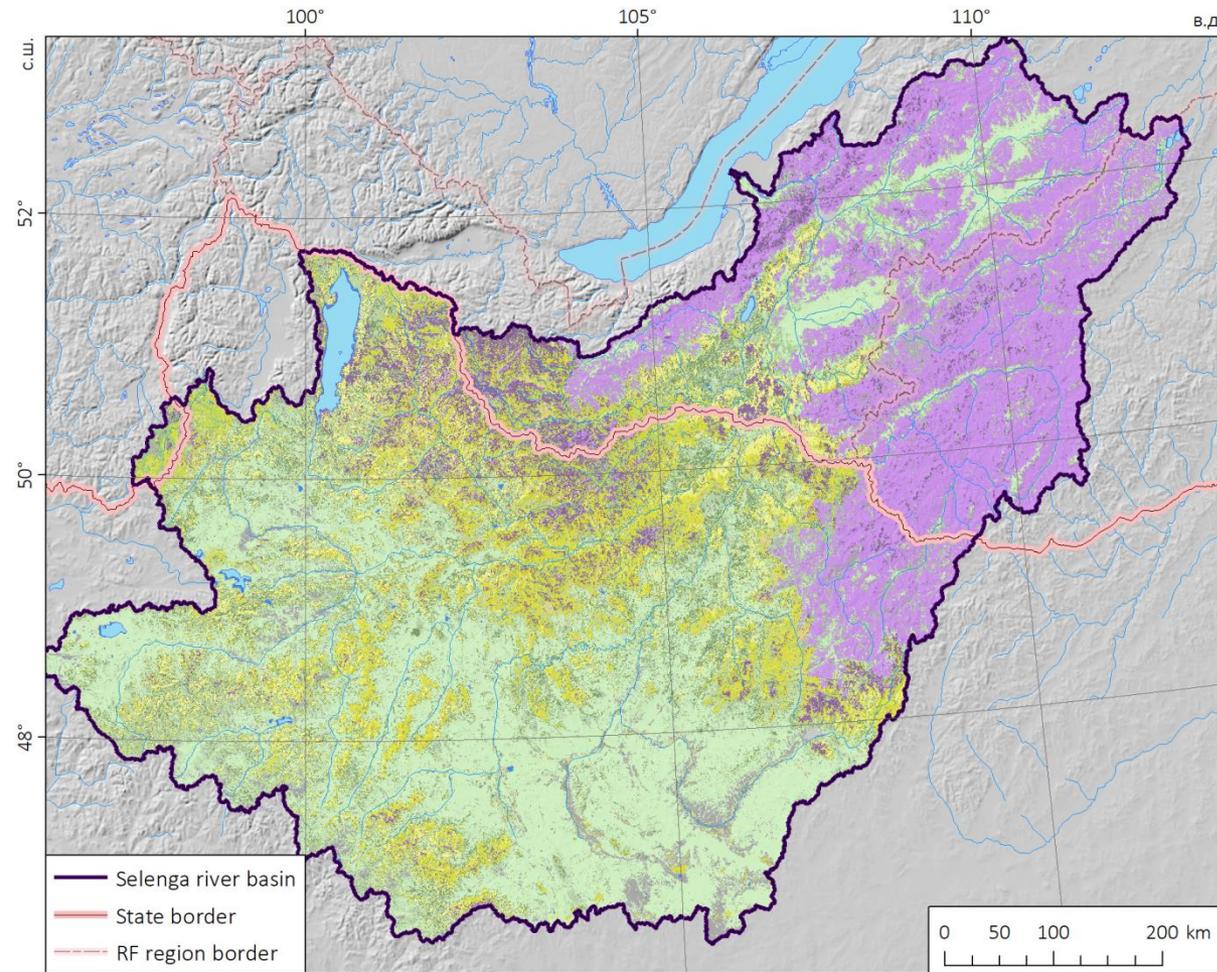
- Оценка возможности применения данных глобальных моделей ЧПП ICON (Германия) и GFS/NCEP (США) для расчета пространственного распределения снегозапасов в бассейне р. Селенги, который характеризуется малым количеством осадков в холодный период, низкой плотностью наблюдательной сети и разнообразным рельефом и растительным покровом

Картографическая основа

(ЦМР на основе
SRTM-90,
наблюдательная
сеть, границы
бассейна)



- ▲ weather stations
- ▼ gauging stations
- flooded settlements (2001 - 2020)
- state border
- Selenga river basin



Типы подстилающей поверхности в бассейне р. Селенги

Лесопокрываемые территории

- Лиственные леса
- Смешанные и хвойные леса
- Хвойные и смешанные редкостойные леса

Нелесопокрываемые территории

- Пойменная растительность
- Травянистая растительность
- Орошаемые пахотные земли
- Пахотные земли
- Разреженная растительность

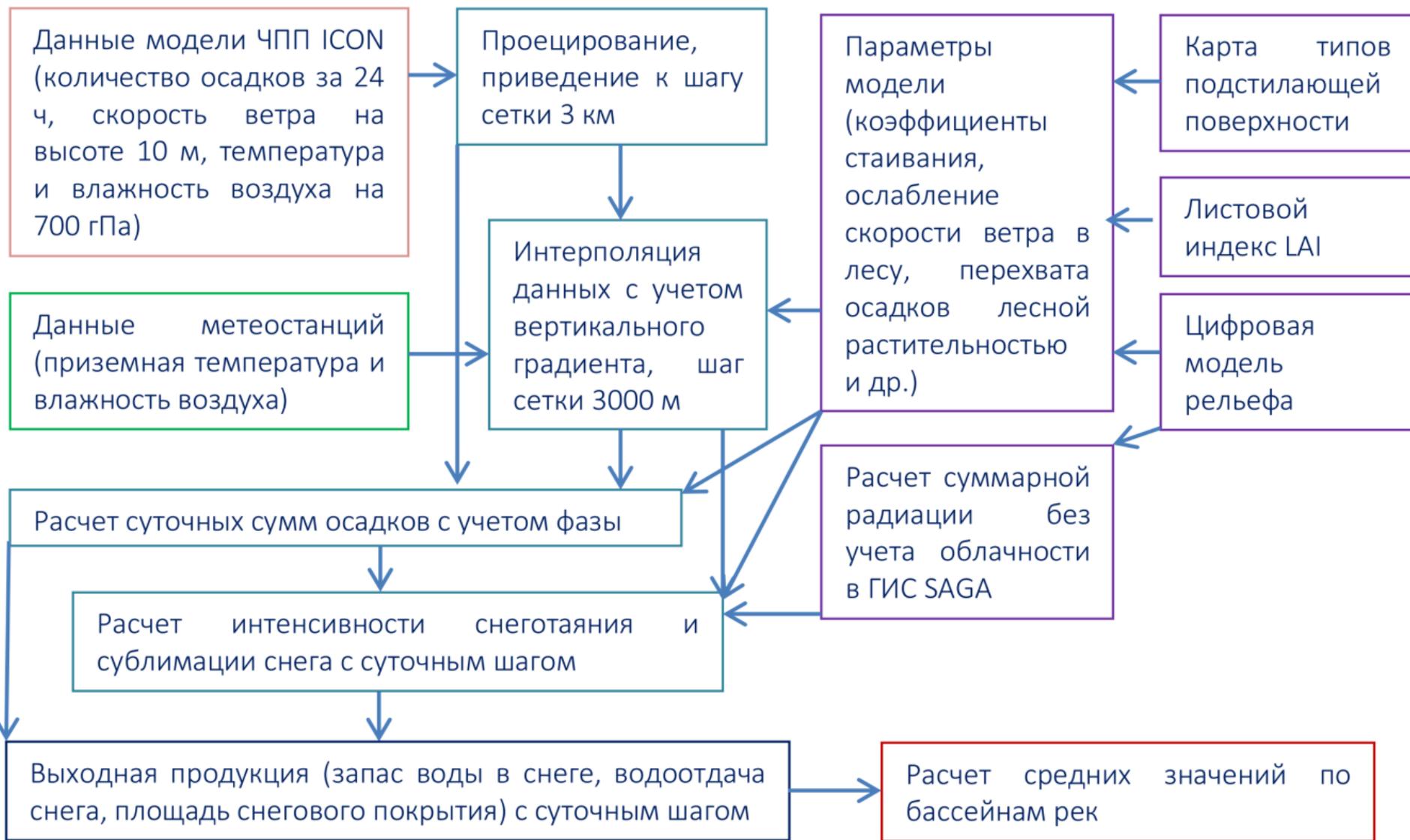
Мозаика лесопокрываемых и нелесопокрываемых территорий

- Пахотные земли (50-70%)/луга (30-50%)
- Леса и кустарники (50-70%)/луга (20-50%)
- Луга (50-70%)/леса и кустарники (20-50%)
- Луга и кустарники (50-70%)/пахотные земли (20-50%)

Прочее

- Городская застройка
- Участки, лишённые растительности
- Нет данных/облачность
- Снега и ледники
- Водная поверхность

Общая схема методики расчета снегозапасов в бассейне р. Селенги



Основные характеристики моделей ЧПП, прогнозы которых использованы как начальные данные для моделирования снежного покрова

Модель ЧПП	Разработчик модели	Шаг сетки, км	Число вертикальных уровней	Шаг сетки выходных данных	Ссылка на получение данных
GFS/NCEP	Национальный центр по прогнозированию окружающей среды (NCEP), США	13	64	13 км	http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod/
ICON	Метеослужба Германии (DWD)	13	90	0,125°	http://ftp-outgoing2.dwd.de/gds/ICON/grib/europe/

Оценка прогноза месячных сумм осадков в холодный период по модели ICON на территории бассейна р. Селенги.

В числителе – данные по всем 59 рассматриваемым метеостанциям, в знаменателе – только по 36 метеостанциям в бассейне Селенги

Параметр	X.2020	XI.2020	XII.2020	I.2021	II.2021	X.2021	XI.2021	XII.2021	I.2022	II.2022
Среднее наблюдаемое количество осадков, мм	16,0/ 11,1	10,1/ 6,3	6,2/ 3,4	10,6/ 7,9	6,1/ 4,4	2,4/ 1,4	8,1/ 6,1	6,1/ 4,1	6,2/ 5,1	3,1/ 1,7
Среднее количество осадков по модели ICON, мм	24,2/ 18,0	13,3/ 11,1	7,8/ 5,8	11,7/ 11,2	12,5/ 11,7	4,1/ 3,5	10,2/ 7,4	7,2/ 6,0	6,5/ 6,1	4,3/ 4,0
Средняя разность, мм	8,2/ 6,9	3,3/ 4,8	1,6/ 2,4	1,1/ 3,4	6,4/ 7,3	1,8/ 2,1	2,1/ 1,3	1,0/ 1,8	0,3/ 0,9	1,2/ 2,2
RMSE, мм	16,1/ 13,5	12,9/ 7,9	5,2/ 4,2	9,3/ 6,0	8,2/ 8,9	4,9/ 3,8	7,6/ 4,1	4,6/ 3,7	3,9/ 3,3	4,1/ 3,5
Отношение RMSE к среднему наблюдаемому количеству осадков, %	100/ 121	127/ 125	83/ 123	87/ 77	134/ 199	207/ 269	95/ 67	76/ 91	63/ 64	129/ 210

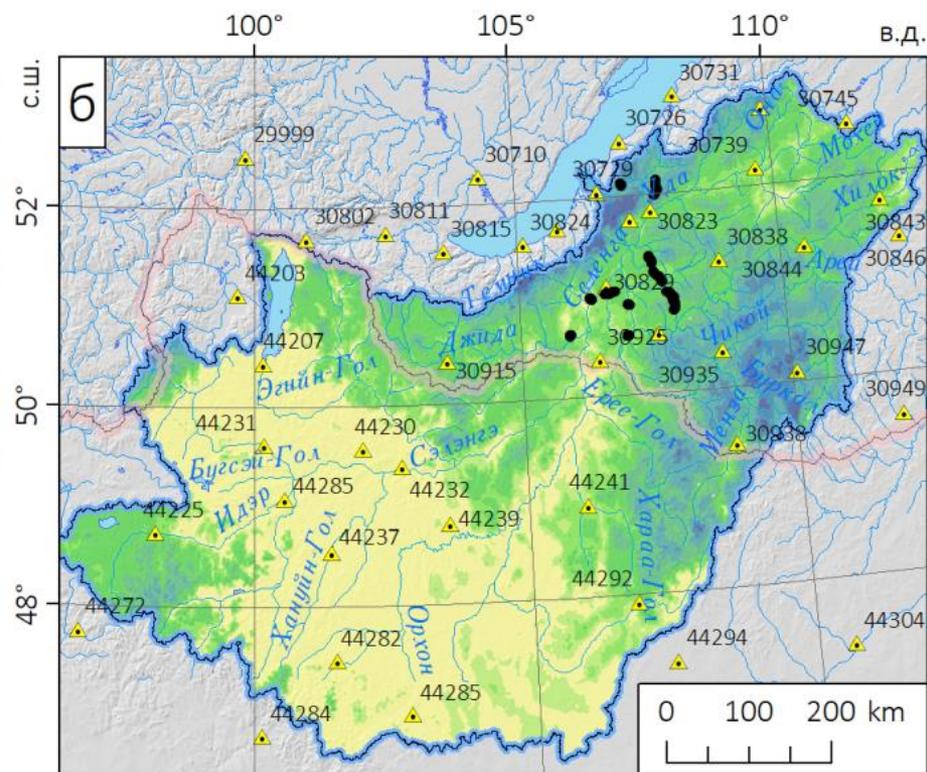
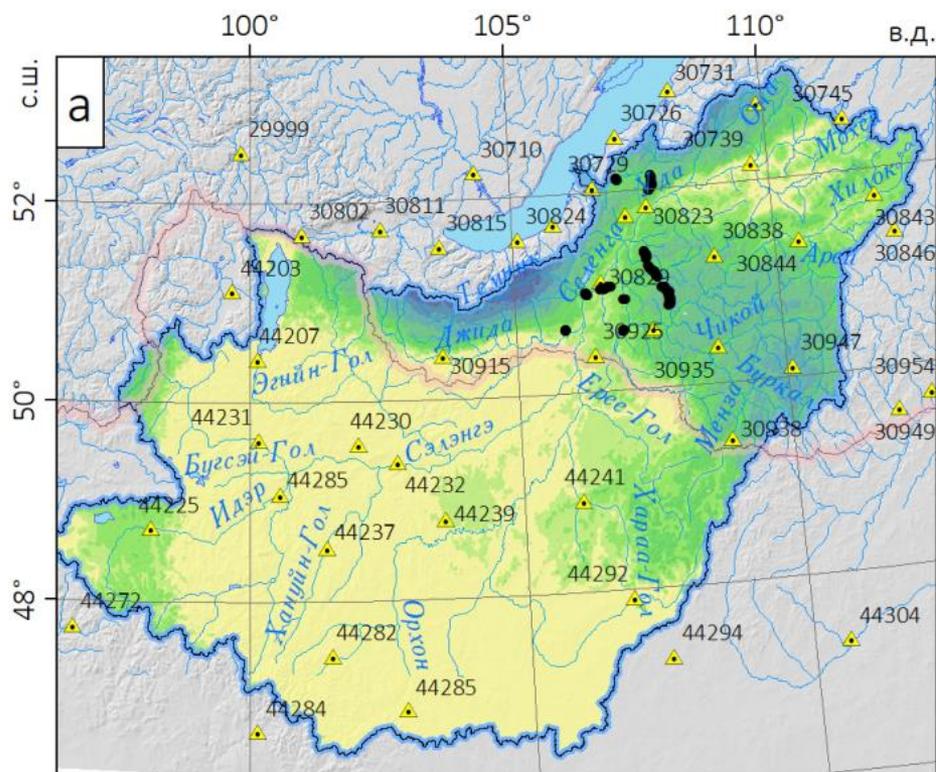
Оценка прогноза месячных сумм осадков в холодный период по модели GFS/NCEP на территории бассейна р. Селенги.

В числителе – данные по всем 59 рассматриваемым метеостанциям, в знаменателе – только по 36 метеостанциям в бассейне Селенги

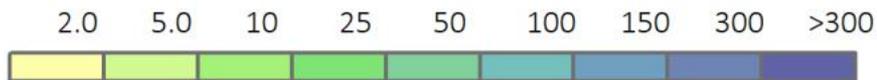
Параметр	X.2021	XI.2021	XII.2021	I.2022	II.2022
Среднее наблюдаемое количество осадков, мм	2,4/1,4	8,1/6,1	6,1/4,1	6,2/5,1	3,1/1,7
Среднее количество осадков по модели GFS/NCEP, мм	4,5/3,5	10,0/6,8	8,8/6,4	7,2/6,1	7,0/6,1
Средняя разность, мм	2,1/2,0	1,9/0,7	2,6/2,3	1,1/0,9	3,9/4,1
RMSE, мм	5,5/3,8	9,0/4,4	6,6/4,1	4,0/3,1	6,6/5,7
Отношение RMSE к среднему измеренному количеству осадков, %	230/270	112/72	108/101	66/60	209/338

Расчетный запас воды в снежном покрове в бассейне р. Селенги в период проведения снегосъемок в 2021 г. (15.02.2021).

Расчет на основе интерполяции данных метеостанций (а) и данных модели атмосферы ICON (б)



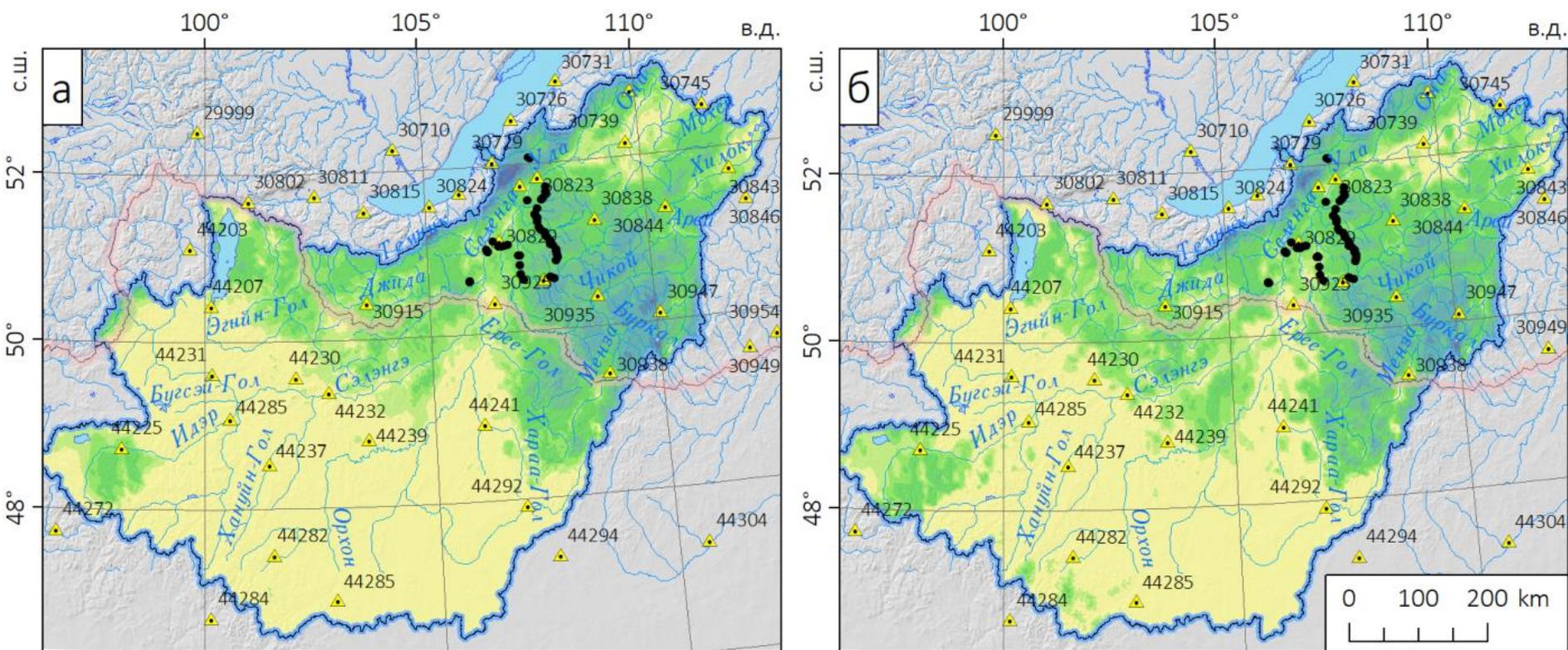
Запас воды в снежном покрове, мм



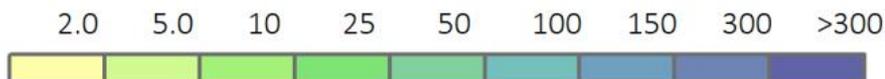
- границы бассейна
- Границы РФ
- измерения SWE
- ▲ метеостанции

Расчетный запас воды в снежном покрове в бассейне р. Селенги в период проведения снегосъемок в 2022 г. (25.02.2022).

Расчет на основе данных модели GFS/NCEP (а)
и модели ICON (б)



Запас воды в снежном покрове, мм



- границы бассейна
- Границы РФ
- измерения SWE
- ▲ метеостанции

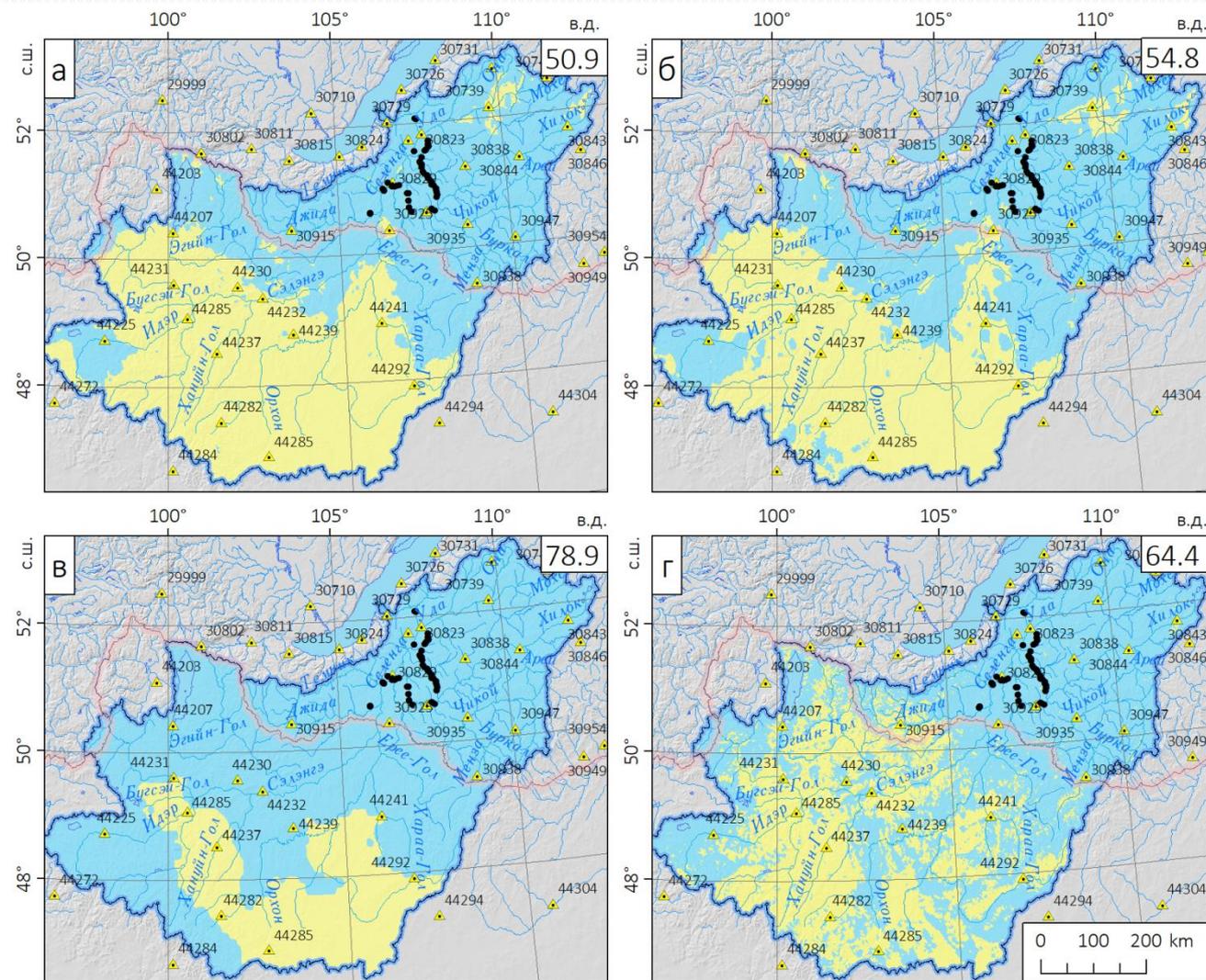
Оценка достоверности результатов расчета SWE в бассейне р. Селенги на основе данных маршрутной снегомерной съемки в январе-феврале 2021 г.

Снегомерный маршрут (число точек)	Абс. высота, м (мин./среднее/макс.)	Измеренный SWE, мм (мин./среднее/макс.)	Расчетный SWE, мм (минимум/среднее/максимум)		RMSE (мм) / отношение к среднему фактическому снегов запасу (%)	
			по модели ICON	По данным метеостанций	по модели ICON	По данным метеостанций
хр. Барской (18)	784/879/1008	6.1/19.5/35.5	9.7/13.5/19.2	10.0/13.8/19.1	8.9/46.1	8.8/45.2
Тугнуйская котловина (20)	640/716/897	1.9/9.8/23.1	6.5/10.1/15.7	14.3/17.1/20.9	5.0/51.6	8.8/89.7
хр. Заганский (50)	722/856/1092	5.7/19.9/46.4	10.0/25.7/36.7	21.8/31.8/38.1	11.5/57.8	14.7/74.0
Бичурская котловина (26)	600/604/610	2.9/5.9/11.3	7.4/7.4/7.4	4.3/4.3/4.3	2.56/43.2	2.68/45.2
Долины р. Хилок, Чикой (34)	524/608/724	2.6/8.7/18.2	5.4/8.7/14.5	1.2/3.1/5.6	5.4/62.5	6.2/71.0
Нижнее течение р. Селенги (12)	-	28.5/52.1/109.1	57.0/62.9/66.3	17.0/17.3/18.8	23.2/44.5	40.7/78.0
Хр. Улан-Бургасы (15)	-	29.1/72.6/164.0	52.0/82.7/106.2	20.5/25.6/33.4	37.5/51.7	64.4/89.1
Долина р. Селенга (15)	541/545/555	0.4/4.8/10.7	2.5/2.6/2.6	4.2/4.8/6.1	3.93/81.6	3.24/67.3
Долина р. Джиды (10)	582/587/595	7.5/12.5/17.0	5.2/5.7/6.8	2.9/4.3/4.8	7.5/60.0	8.7/70.0

Оценка достоверности результатов моделирования запасов воды в снеге в бассейне р. Селенги на основе данных маршрутной снегомерной съемки в феврале 2022 г.

Снегомерный маршрут (число точек)	Абс. высота, м (мин./среднее/макс.)	Измеренный SWE, мм (мин./среднее/макс.)	Расчетный SWE, мм (минимум/среднее/максимум)			RMSE (мм) / отношение к среднему фактическому снеговому запасу (%)		
			по модели ICON	по модели GFS	по данным метеостанций	по модели ICON	по модели GFS	по данным метеостанций
хр. Барской и Заганский (13)	722/854/1092	19.0/26.3/34.0	12.6/20.3/35.6	16.4/24.9/41.2	15.6/23.4/33.8	11.4/0.43	4.8/0.18	3.1/0.12
Тугнуйская котловина (5)	640/735/832	20/21/26	11.2/12.2/14.7	15.0/16.9/19.9	20.5/22.0/25.2	10.0/0.46	4.7/0.22	5.1/0.23
Долины рек Хилок, Чикой, Селенга, Джиды (24)	524/595/752	7.0/14.3/20.0	1.3/7.7/22.8	3.4/10.0/35.2	1.4/6.0/13.8	8.6/0.60	5.4/0.37	6.8/0.47
Долина р. Куйтунка (7)	515/677/874	20/27.6/49	9.9/15.4/24.7	12.6/23.5/35.1	12.2/15.8/21.4	17.6/0.64	8.9/0.32	9.1/0.33

Сопоставление расчетной и фактической площади снегового покрытия в бассейне р. Селенги на 23.02.2022.



а) – расчет по модели ICON,
 б) – расчет по модели GFS/NCEP,
 в) – данные ERA5-Land,
 г) – данные Terra MODIS.

В левом верхнем углу указана доля площадь снегового покрытия в бассейне (в %)

расчетные данные

- нет снегового покрова
- сплошной снежный покров

данные MODIS

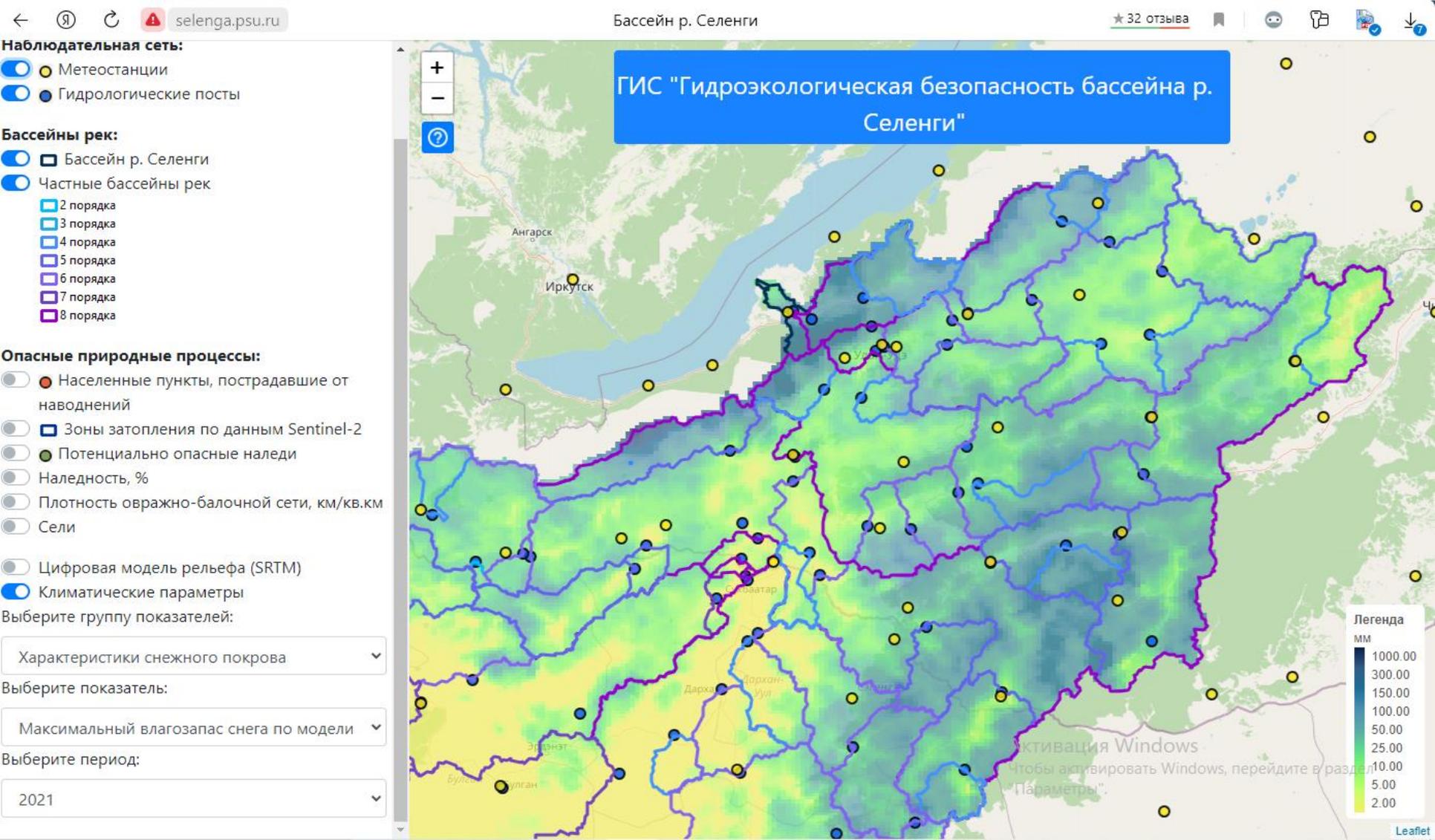
- нет снегового покрова
- сплошной снежный покров

- границы бассейна
- границы РФ
- измерения SWE
- метеостанции

Сопоставление расчетных значений SWE с данными ERA5-Land и результатами снегомерных съемок (по всему бассейну р. Селенги)

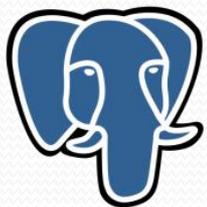
Дата	Снегозапас (мм)					RMSE (мм)			
	Сравнение с данными снегомерных съемок (средние по площади бассейна)								
	По данным снего-съемок	по моде-ли ICON	по моде-ли GFS	по данным метео-станций	ERA5-Land	по моде-ли ICON	по моде-ли GFS	по данным метео-станций	ERA5-Land
15.02.2021	19,5	21,6	-	15.5	36,7	13,8	-	22.2	27,6
25.02.2022	20,8	13,1	17,8	13.6	25,8	11,3	8,2	11.0	10,3
Средние значения SWE по всей площади бассейна (мм)									
15.02.2021	-	19.3	-	10.8	23.8	-	-	-	-
25.02.2022	-	10.3	10.7	4.4	17.4	-	-	-	-

Отображение информации о запасах воды в снежном покрове на картографическом веб-сервисе <http://selenga.psu.ru/>



Стек технологий для разработки веб-ГИС

DBMS



PostgreSQL

Управление
данными

GIS-server



GeoServer

Публикация
пространственных
данных в сети
Интернет

Languages



Разработка функциональности
и интерфейса

JS-libraries



Разработка приложения для управления
базой данных

Основные результаты

- Установлено, что модели GFS и ICON имеют тенденцию к завышению зимних осадков.
- Если в 2021 г. на разных участках наблюдалось как завышение, так и занижение расчетного снегозапаса в сравнении с данными снегосъемок (в основном в пределах 20-50%), то в 2022 г. отмечено его систематическое занижение, особенно значительное при расчете по данным модели ICON. Снегозапас сильно недооценивается в степной зоне, что может быть обусловлено завышением интенсивности сублимации с поверхности снега.
- Сопоставление полученных результатов с данными реанализа ERA5-Land и спутниковыми снимками MODIS показало, что реанализ существенно завышает снегозапас и площадь снегового покрытия. По результатам моделирования на основе данных моделей GFS/NCEP и ICON площадь снегового покрытия оказалась занижена в 2022 г. и хорошо воспроизвелась в 2021 г., что коррелирует с результатами расчета снегозапаса.
- Неопределенности при расчете снегозапасов возникают вследствие ошибок в численных прогнозах осадков, также необходима калибровка эмпирических коэффициентов, используемых при расчёте сублимации с поверхности снега.
- Результаты расчетов опубликованы на картографическом веб-сервисе <http://selenga.psu.ru/>.

An aerial photograph showing a complex river delta system with numerous meandering channels and oxbow lakes. The land is a mix of green vegetation and brownish agricultural fields. A city with a grid-like street pattern is visible on the right side. The river flows from the top left towards the bottom left, where it meets a larger body of water.

Спасибо за внимание

С.В. Пьянков
Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
e-mail: pyankovsv@gmail.com