

История, основные направления и этапы изучения стока и водного режима рек Арктической зоны России в XX в. и начале XXI в.



К.г.н. Магрицкий Дм.Влад.
Д.г.н. Фролова Н.Л.
К.г.н. Повалишникова Н.Л.

magdima@yandex.ru

Арктическая зона и водосборы арктических морей России



АЗРФ занимает 4,9 млн км² материковой и 0,2 км² островной суши, 4,0 млн км² морских акваторий 8 субъектов РФ (частично или полностью).

Тогда как общая площадь водосборных бассейнов морей Баренцева, Белого, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского равна 13,286 млн. км². Доля РФ ~90,8%.

В АЗРФ морские устья 3х крупнейших рек страны - Оби, Енисея и Лены, 15 больших и ~110 средних арктических рек.

В российской Арктике сосредоточены огромные по запасам и разнообразные природные ресурсы. Пролегает СевМорПуть.

В АЗРФ живет ~2,41 млн чел.

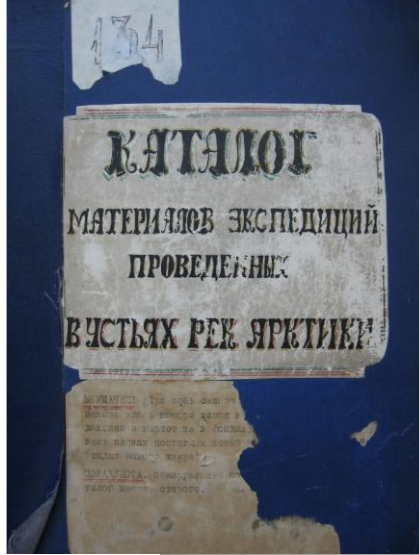
Первые исследования и исследователи



ВРАНГЕЛЬ
Фердинанд



СЕДОВ Г.А.



Первые серьезные научные исследования с гидрографической и гидрологической частью с первой пол. XIX в. по заказу - Императорской Академии Наук, - Военного министерства, - Императорского Русского Географического Общества



Шостакович В. Температура рек Сибири и количество переносимого ими в Северный Ледовитый океан тепла // Записки по гидрографии. 1914

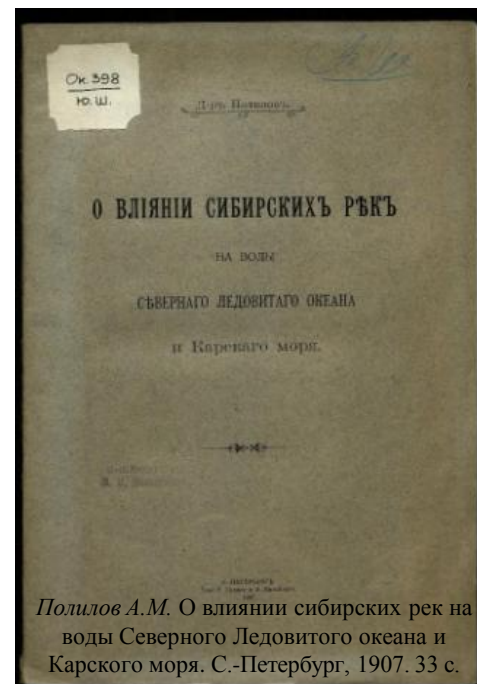
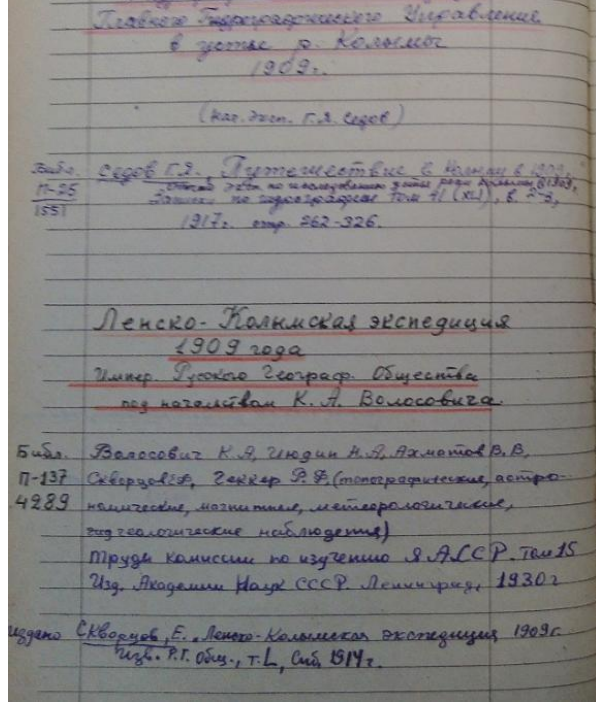
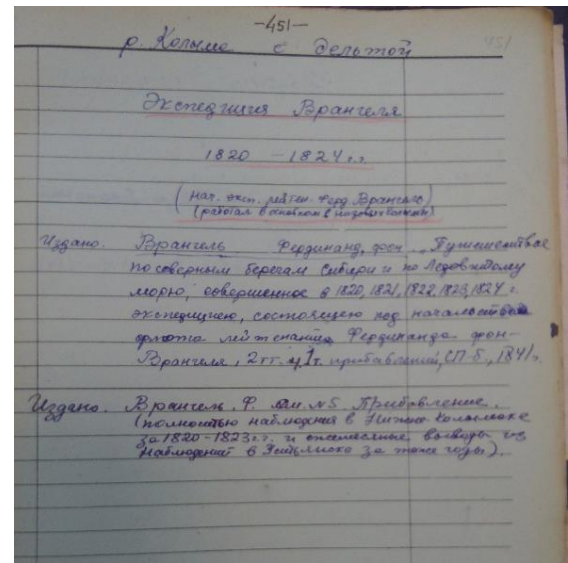
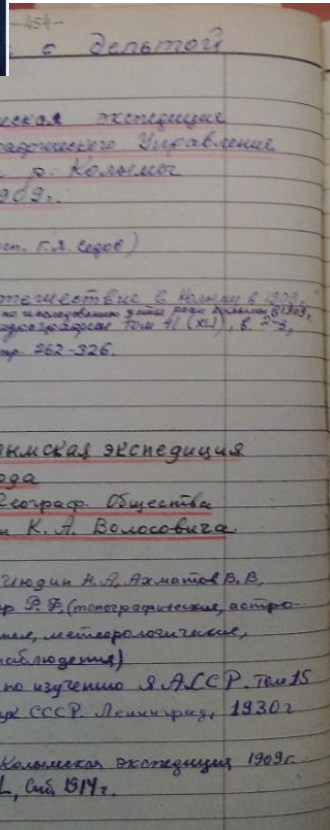
Температура рек Сибири и количество переносимого ими в Северный Ледовитый океан тепла.

Благодаря настойчивости Иркутской магнитно-метеорологической обсерватории, удалось организовать из Восточной Сибири первую сеть станций, на которых в течение последних лет ведутся наблюдения над температурой рек.

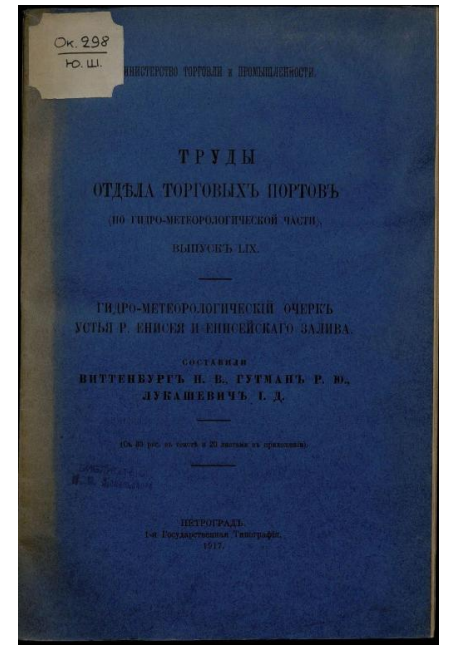
Большое содействие в этом отношении оказали обсерватория Управление водными путями Амурского бассейна и технический надзор за судоходством на р. Енисее; оба эти учреждения устроили на своих водохранилищах посты наблюдений над температурой рек¹⁾. В последнее время (1909—10 гг.) такие наблюдения организованы на двадцати реках в 27 пунктах.

В большинстве случаев температура воды измеряется при помощи особых ртутных термометров три раза в сутки в 7, 19 и 21 ч., т. е. в установленные метеорологические сроки. Для наблюдений термометр опускается из небольшого расстояния от берега на глубину четверть-полтора метра. Чтобы достигнуть большей точности, наблюдатель производит отсчет, по возможности, не видимая термометр из воды.

¹⁾ Часть этих наблюдений до 1904 года обрабатывала лично и издала в виде приложения для статьи «О температуре рек в Восточной Сибири» Записки Императорской Академии Наук т. XX, № 4 СПб. 1907.

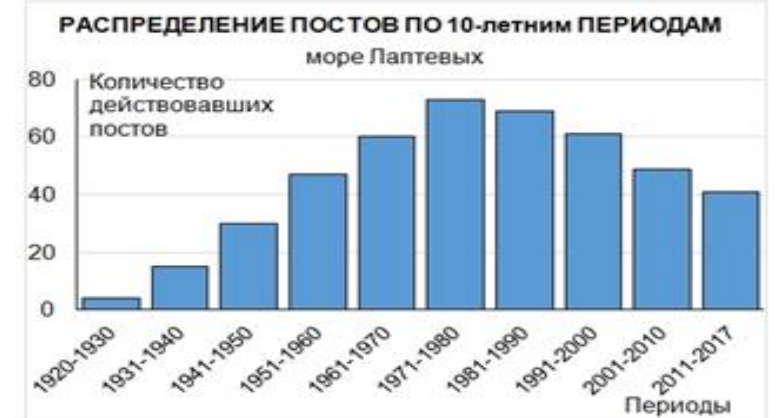
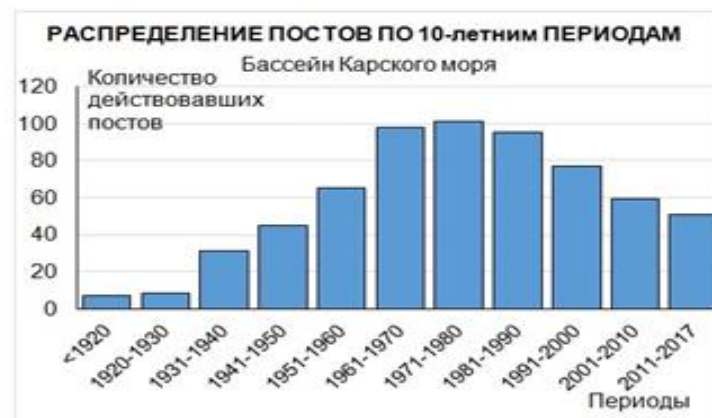
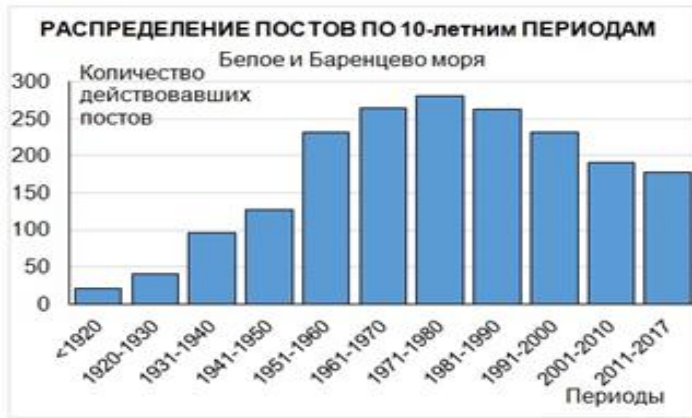
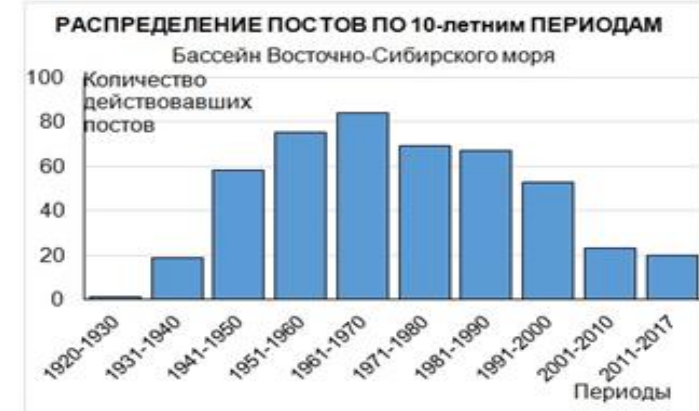
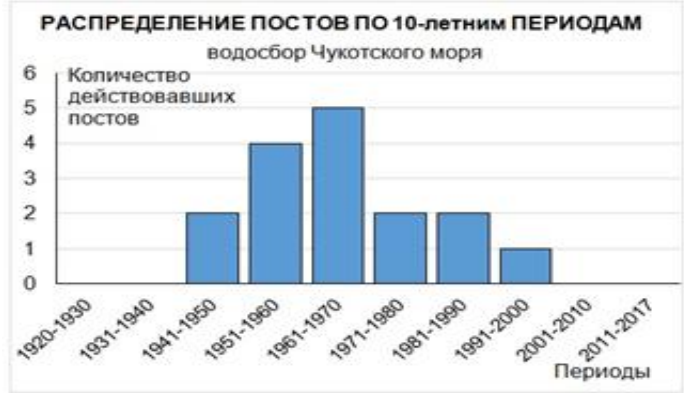
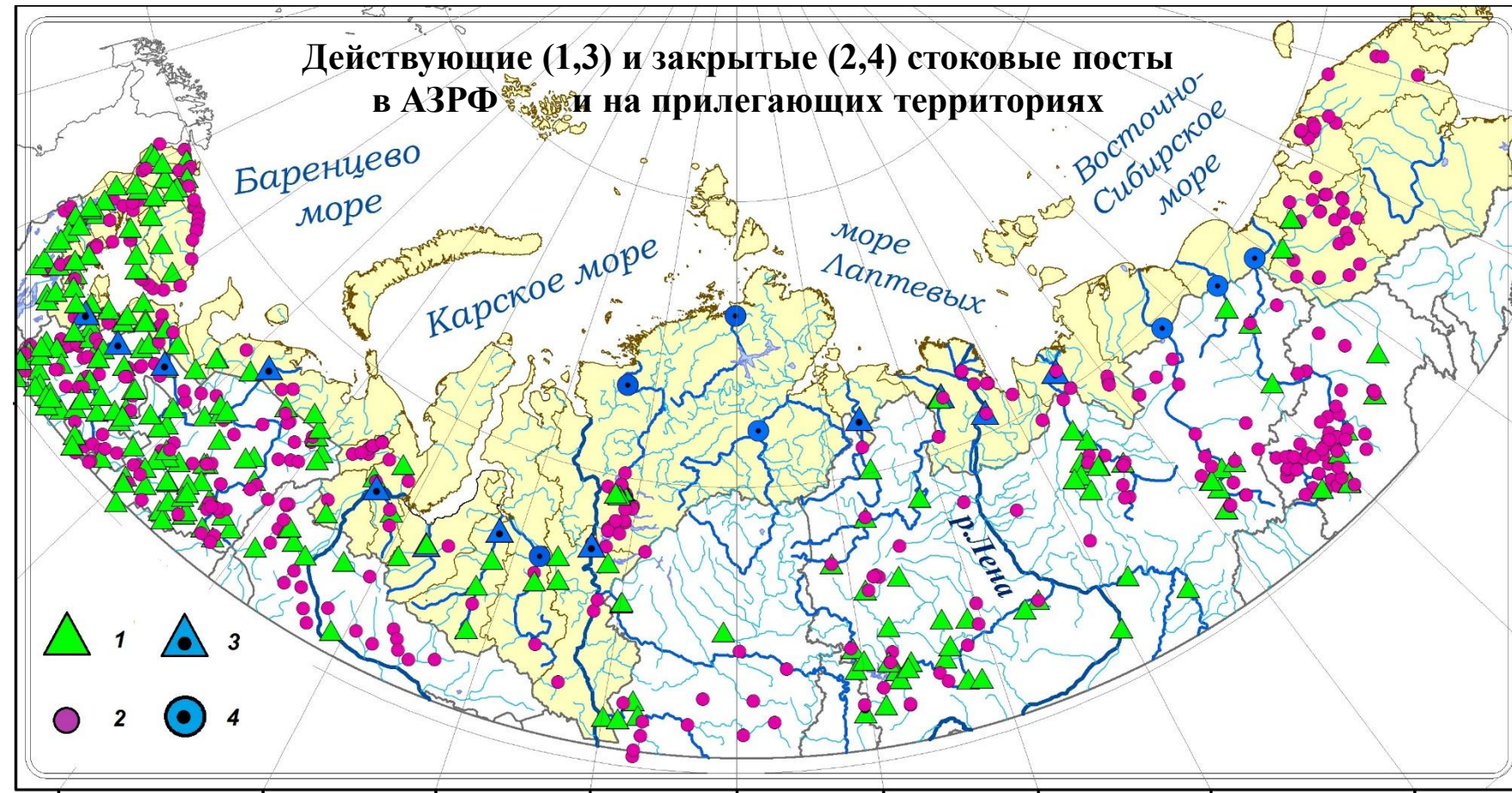


Поллов А.М. О влиянии сибирских рек на воды Северного Ледовитого океана и Карского моря. С.-Петербург, 1907. 33 с.



Мониторинговая сеть

Действующие (1,3) и закрытые (2,4) стоковые посты в АЗРФ и на прилегающих территориях



Этапы исследования гидрологии российской Арктики

I. 1920-е и, главное, 1930-е гг. – период создания сети стационарных пунктов наблюдений и проведения масштабных экспедиционных гидрологических работ, массового накопления гидрологических данных. Продлился и в послевоенные годы – примерно до 1960–1970-х гг.

II. С 1960–1970-х гг. и по 1990-е гг. – период анализа накопленного материала и научных обобщений, появления новых направлений в исследовании гидрологии арктических рек и их устьев, ориентированных на глубокое изучение воздействия хозяйственной деятельности на сток и водный режим рек. В эти годы выявлялись закономерности и причины пространственно-временной изменчивости стока и элементов водного режима, создавались прикладные инструменты для расчета гидрологических характеристик при минимуме исходной информации, разрабатывались и применялись первые математические модели и др.

III. Вторая половина 1990-х и самое начало 2000-х гг. - снижение активности гидрологических исследований в российской Арктике.

IV. Современный этап с большим количеством полярных экспедиций, национальными и международными проектами. Новая инструментальная база и современные технологии гидрологического мониторинга, обработки и анализа данных, возможности воспроизведения и прогноза гидрологических процессов, новые масштабные темы исследований в связи с изменениями климата и деградацией вечной мерзлоты, ренессансом хозяйственной деятельности в АЗРФ.

Главные направления гидрологических исследований в российской Арктике

- 1) Гидрографические изыскания в устьях и руслах арктических рек;
- 2) оценка составляющих водного баланса речных бассейнов и поступления речных вод в арктические моря;
- 3) закономерности и факторы изменения характеристик стока воды рек по территории;
- 4) статистическая структура, закономерности и факторы многолетних колебаний стока, сценарные оценки будущих изменений;
- 5) водный режим арктических рек, его черты и основные типы;
- 6) карты, региональные схемы расчета характеристик стока для неизученных территорий и объектов;
- 7) водохозяйственная деятельность и ее воздействие на водный сток и режим рек и, наоборот, гидрологические ограничения для населения и природопользования со стороны водных объектов Арктики;
- 8) новые технологии в изучении и мониторинге водного режима рек - дистанционный мониторинг, физико-математическое моделирование процессов формирования стока на речных водосборах;
- 9) гидрологический режим и процессы в устьях арктических рек, их численное моделирование.

Основные центры исследования гидрологии российской Арктики

РОСГИДРОМЕТ



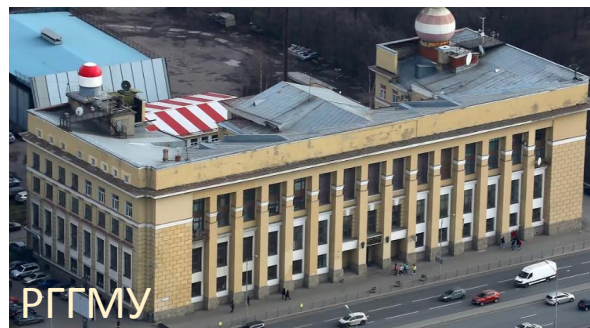
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ)



Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова (ГОИН)

Мурманское, Северное, Обь-Иртышское, Среднесибирское, Диксинское, Якутское, Тиксинское, Колымское и Чукотское УГМС

ВУЗы

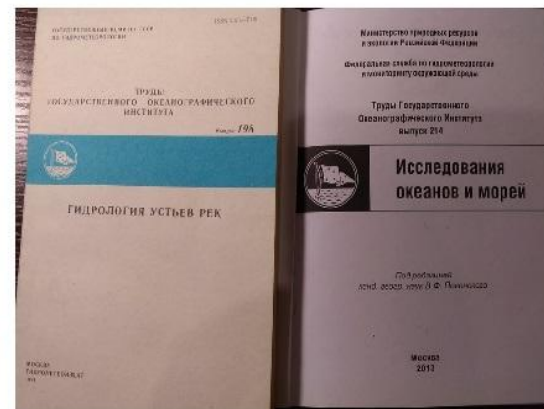
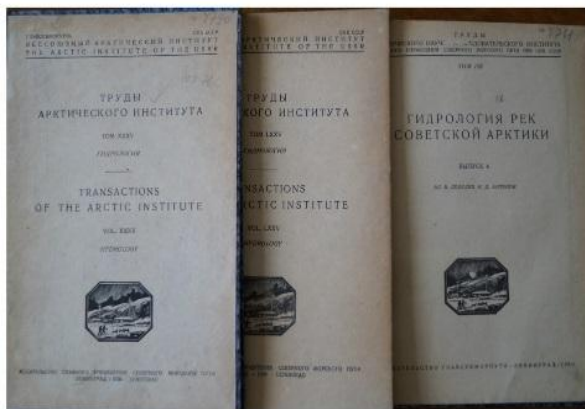


Институты РАН



Институт географии (ИГ РАН), ИГ РАН им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН и его подразделения, подразделения УрО РАН, Институт водных проблем (ИВП РАН), Институт водных проблем (ИВП), Институт океанологии имени П.П.Ширшова, Карельский научный центр РАН (КНЦ РАН), Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН

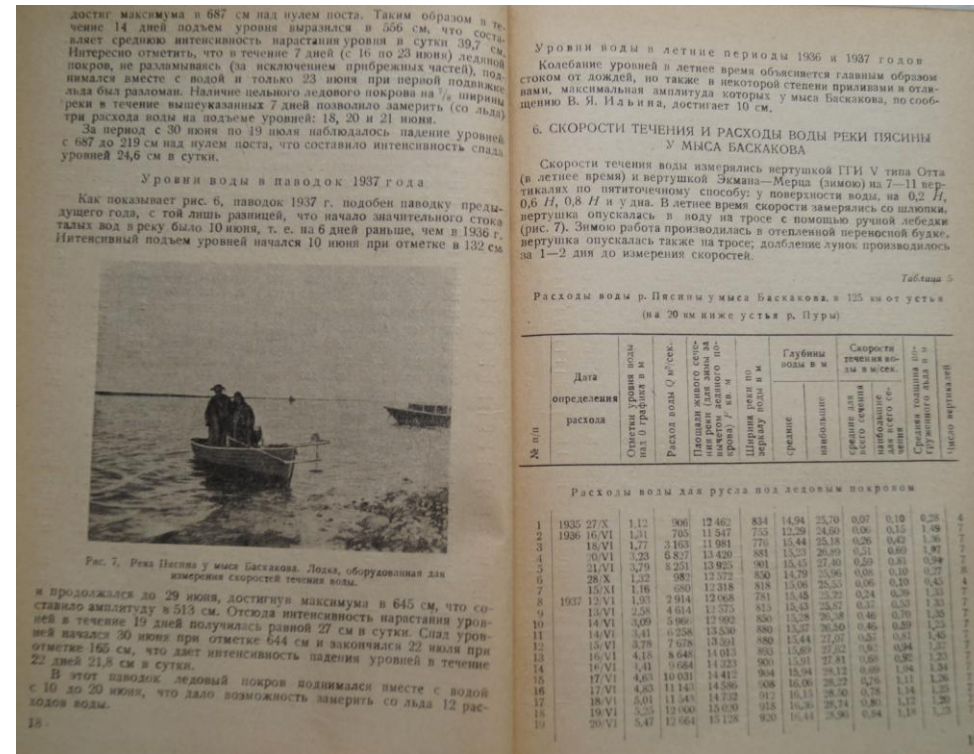
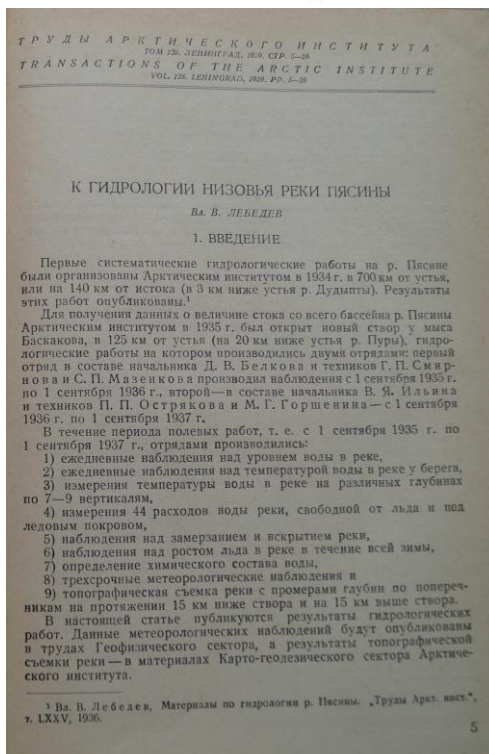
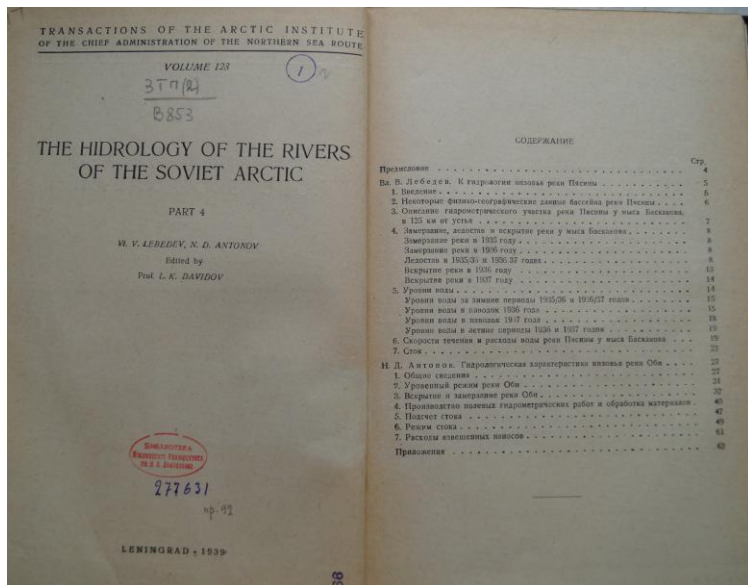
Периодически издаваемые сборники со статьями по гидрологии рек и устьев российской Арктики



Труды ААНИИ

Проблемы Арктики и Антарктики

Труды ГОИН



Уровни воды в летние периоды 1936 и 1937 годов
 Колебание уровней в летнее время объясняется главным образом стоком от дождей, но также в некоторой степени приливами и отливками, максимальная амплитуда которых у мыса Баскакова, по сообщению В. Я. Ильина, достигает 10 см.

6. СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ И РАСХОДЫ ВОДЫ РЕКИ ПЯСИНИ У МЫСА БАСКАКОВА
 Скорости течения воды измерялись вертущей ГТИ V типа Отта (в летнее время) и вертущей Эжмана-Мерса (зимой) на 7—11 вертикалях по питточному способу у повернутой воды, на 0,2 Н, 0,6 Н, 0,8 Н и у дна. В летнее время скорости замерялись со шлюпки, вертущка опускалась в воду на тросе с помощью ручной лебедки (рис. 7). Зимой работа производилась в отепленной переносной будке, вертущка опускалась также на тросе; должение лунки производилось за 1—2 дня до измерения скорости.

Таблица 5
 Расходы воды р. Пясинья у мыса Баскакова, в 125 м от устья (на 20 км ниже устья р. Пури)

Дата определения расхода	Средняя скорость течения в м/сек.	Расход воды в м ³ /сек. (по данным измерений среднего течения на 1 м ² площади)	Ширина реки по вертущке в м.	Глубины воды в м.		Средняя скорость течения в м/сек. (по данным измерений среднего течения на 1 м ² площади)			
				средние	максимальные				
1935 27.VI	1,12	906	12 462	834	1494	23,70	0,07	0,10	0,28
1936 16.VI	1,31	705	11 547	755	1229	24,60	0,06	0,12	1,48
18.VI	1,71	3 163	11 981	770	15 44	25,18	0,26	0,42	1,36
21.VI	2,23	6 827	13 420	881	13 37	26,89	0,21	0,60	1,97
28.VI	2,79	8 251	13 925	901	15 53	27,40	0,29	0,81	0,98
28.VI	2,52	987	13 777	850	14 79	26,96	0,08	0,10	0,73
1.VII	1,16	680	12 318	818	15 96	25,25	0,06	0,10	0,45
8.VII	1,93	2 914	12 068	781	15 48	23,72	0,24	0,29	1,31
13.VII	2,58	4 614	13 573	815	15 53	25,57	0,37	0,53	1,33
14.VII	3,09	5 966	13 992	830	15,28	26,38	0,46	0,70	1,26
14.VII	3,41	6 258	13 590	880	15,37	26,50	0,46	0,67	1,40
15.VII	3,78	7 678	13 361	880	15,44	27,37	0,57	0,81	1,40
16.VII	4,18	8 648	14 013	903	15,69	27,02	0,80	0,94	1,27
16.VII	4,41	9 684	14 323	900	15,91	27,81	0,68	0,68	1,24
17.VII	4,63	10 631	14 412	904	15,94	28,12	0,69	1,04	1,24
18.VII	5,03	11 543	14 586	908	16,06	28,22	0,76	1,11	1,26
18.VII	5,03	11 543	14 712	912	16,11	28,50	0,78	1,14	1,26
19.VII	5,25	12 000	15 030	918	16,26	28,74	0,80	1,12	1,26
20.VII	5,47	12 664	15 128	920	16,41	29,90	0,84	1,13	1,26



Рис. 7. Река Пясинья у мыса Баскакова. Лодка, оборудованная для измерения скорости течения воды.

и продолжалась до 29 июня. Достигнув максимума в 645 см, что составило амплитуду в 513 см. Отсюда интенсивность нарастания уровней в течение 19 дней получалась равной 27 см в сутки. Спад уровней начался 30 июня при отметке 644 см и закончился 22 июля при отметке 160 см, что дало интенсивность падения уровней в течение 22 дней 21,8 см в сутки.

В этот паводок ледовый покров поднимался вместе с водой с 16 до 20 июня, что дало возможность измерить со льда 12 расходов воды.

К ГИДРОЛОГИИ НИЗОВЬЯ РЕКИ ПЯСИНИ

В. В. ЛЕБЕДЕВ

1. ВВЕДЕНИЕ

Первые систематические гидрологические работы на р. Пясине были организованы Арктическим институтом в 1934 г. на 20 км от устья, или на 140 км от истока (а 3 км ниже устья р. Дудитлы). Результаты этих работ опубликованы.¹

Для получения данных о величине стока со всего бассейна р. Пясинья Арктическим институтом в 1935 г. был открыт новый створ у мыса Баскакова, в 125 км от устья (на 20 км ниже устья р. Пури), гидрологические работы на котором производились двумя отрядами: первый отряд в составе начальника Д. В. Бедкова и техников Г. П. Смирнова и С. П. Мазенкова производил наблюдения с 1 сентября 1935 г. по 1 сентября 1936 г., второй — в составе начальника В. Я. Ильина и техников П. П. Острикова и М. Г. Горшенина — с 1 сентября 1936 г. по 1 сентября 1937 г.

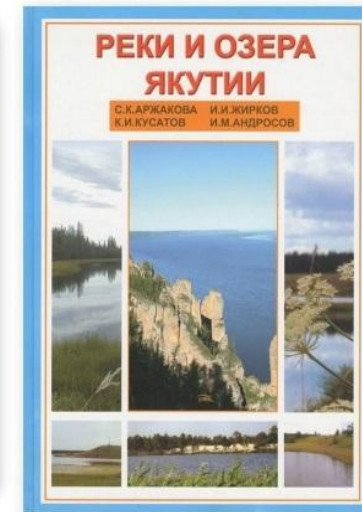
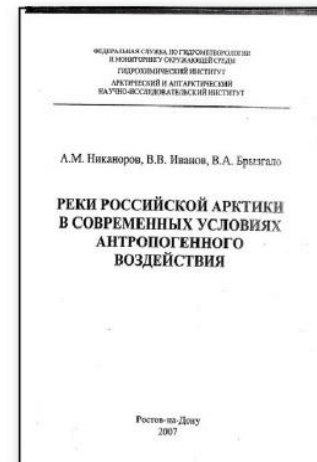
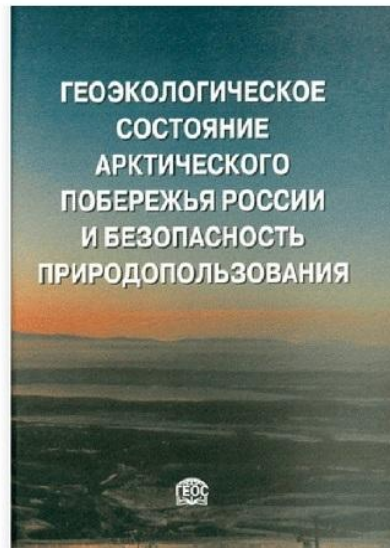
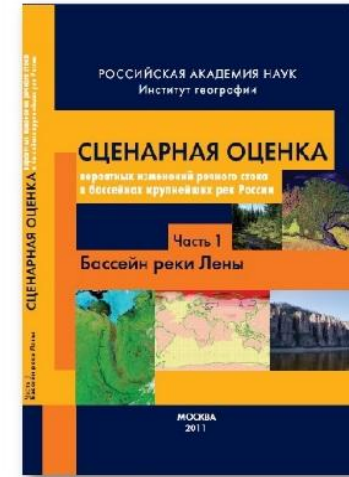
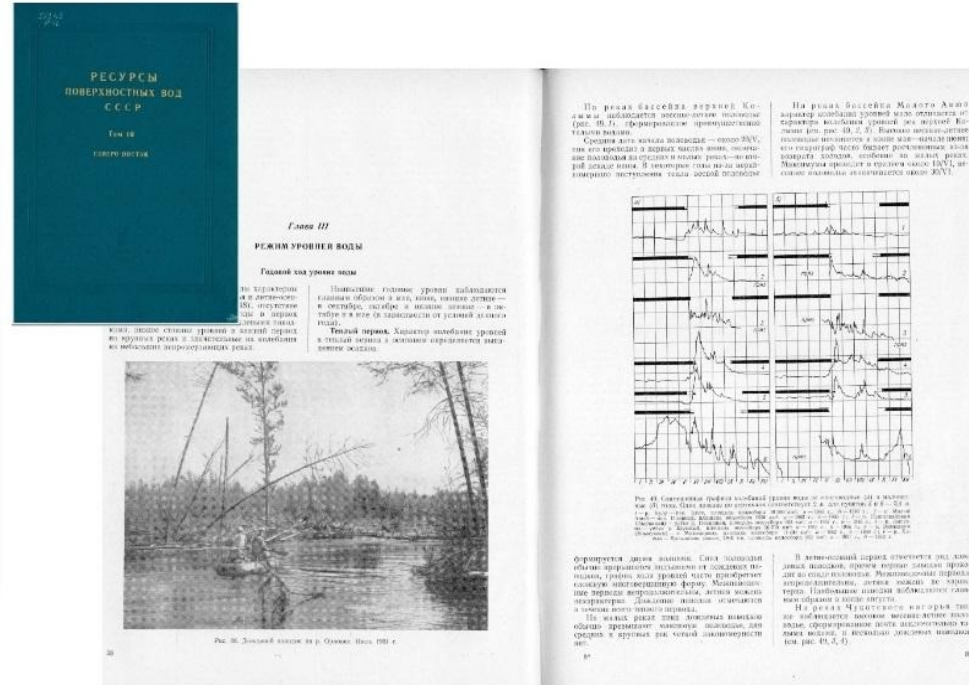
В течение периода полевых работ, т. е. с 1 сентября 1935 г. по 1 сентября 1937 г., отрядами производились:

- 1) ежедневные наблюдения над уровнем воды в реке,
- 2) ежедневные наблюдения над температурой воды в реке у берега,
- 3) измерения температуры воды в реке на различных глубинах по 7—9 вертикалям,
- 4) измерения 44 расходов воды реки, свободной от льда и под ледовым покровом,
- 5) наблюдения над замерзанием и вскрытием реки,
- 6) наблюдения над ростом льда в реке в течение всей зимы,
- 7) определение химического состава воды,
- 8) трехсторонние метеорологические наблюдения и
- 9) топографическая съемка рек с профилями глубины по поперечникам на протяжении 15 км ниже створа и на 15 км выше створа.

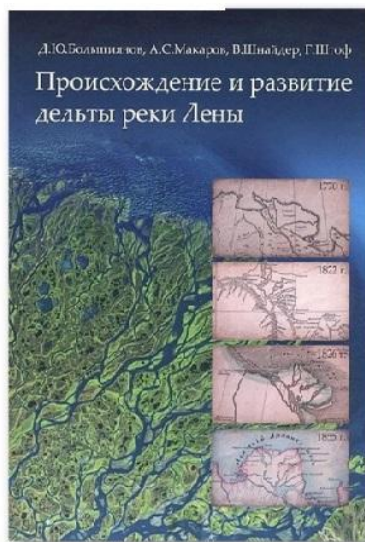
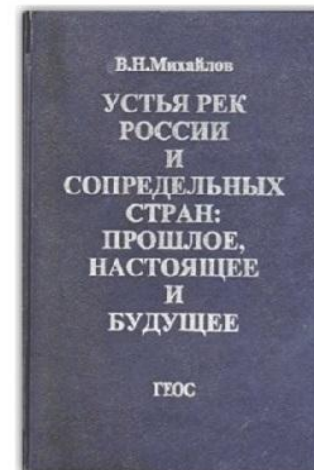
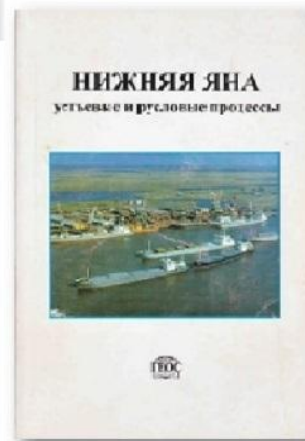
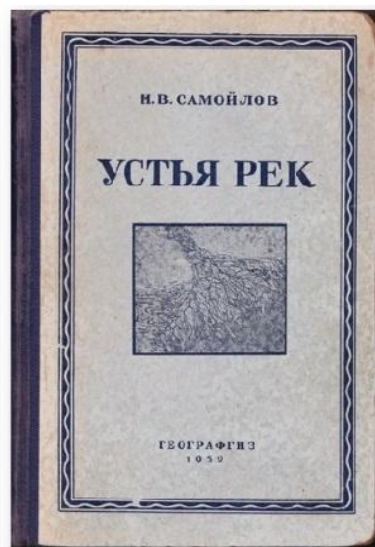
В настоящей статье публикуются результаты гидрологических работ. Данные метеорологических наблюдений будут опубликованы в трудах Географического сектора, а результаты топографической съемки реки — в материалах Карто-геологического сектора Арктического института.

¹ В. В. Лебедев, Материалы по гидрологии р. Пясинья. Труды Аркт. инст., т. LXXV, 1936.

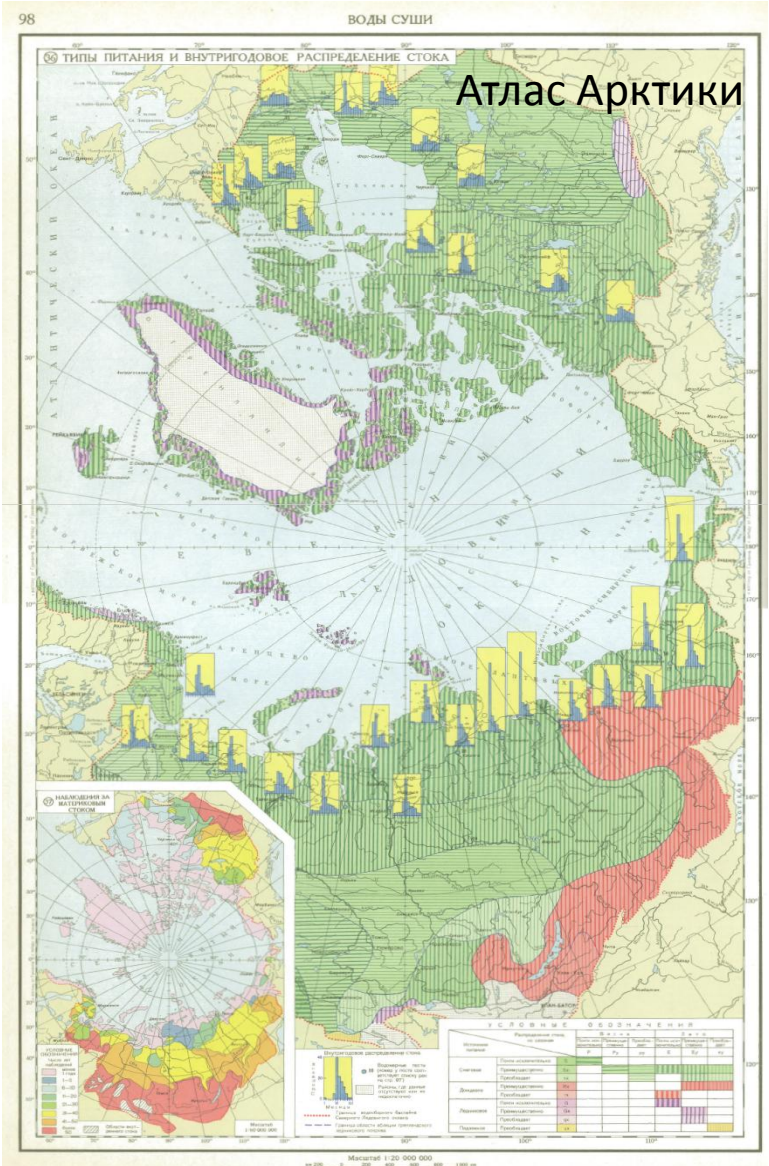
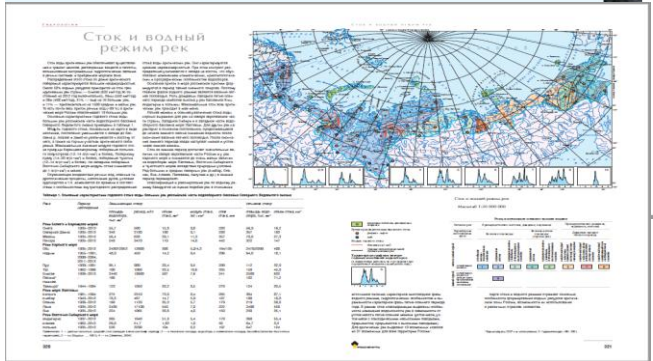
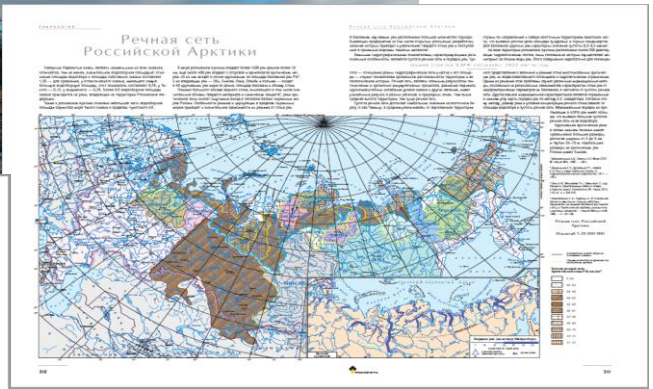
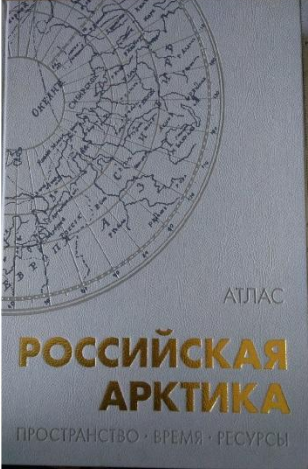
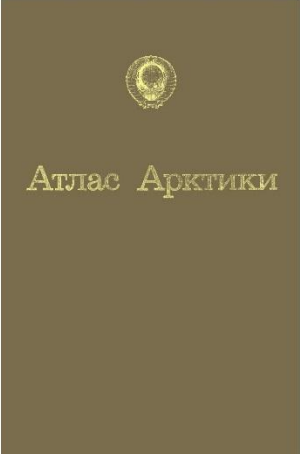
Фундаментальные труды по гидрологии рек российской Арктики



Фундаментальные труды по строению и гидрологическому режиму устьев рек арктического побережья России

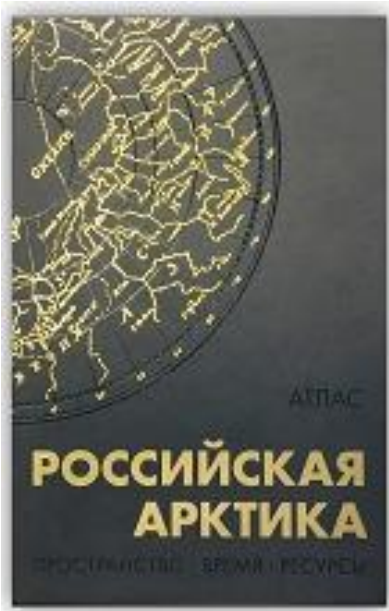


Атласы Арктики, содержащие специализированные гидрологические разделы



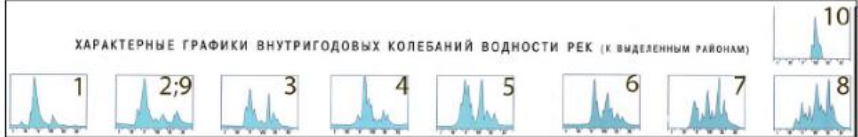
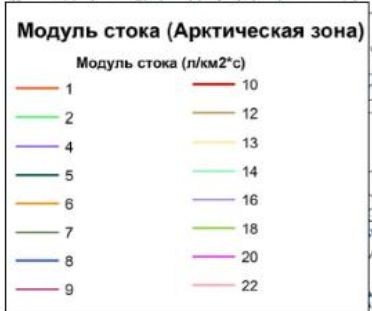
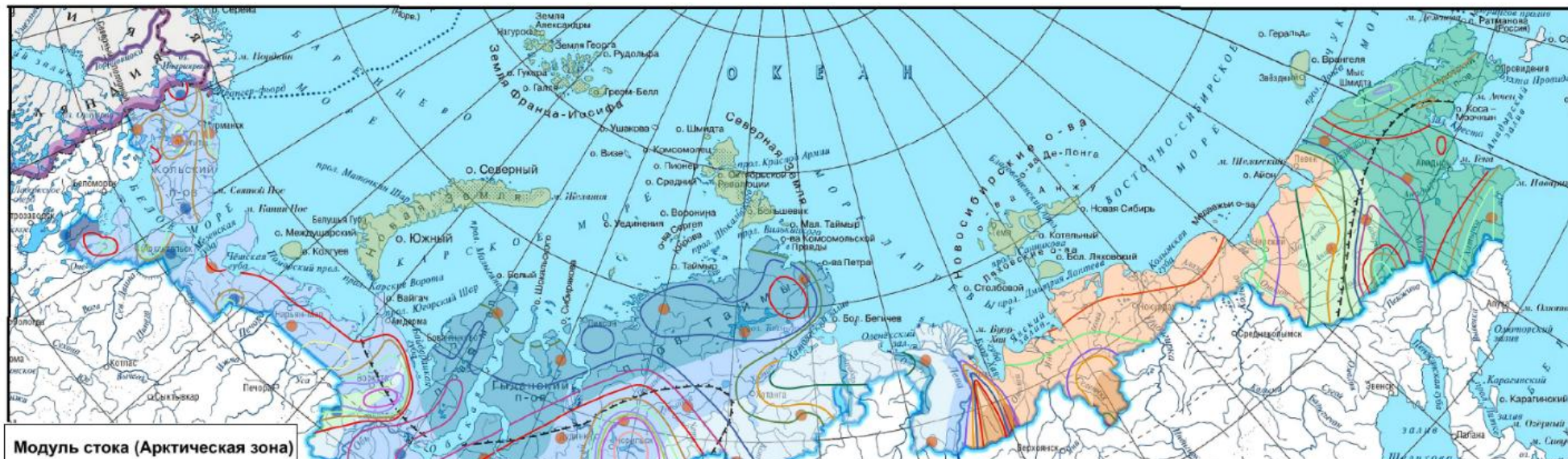
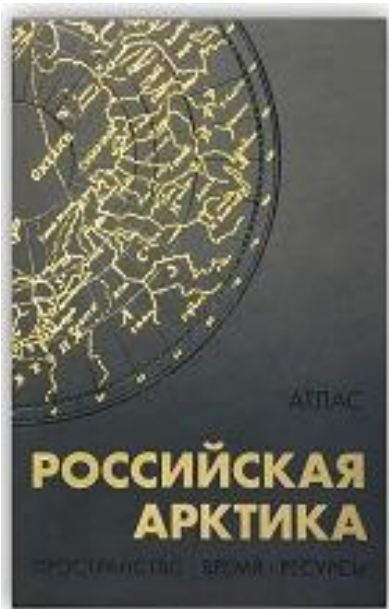
Атлас «Российская Арктика»

Фрагмент карты опасных гидрологических явлений на реках АЗРФ речные наводнения



Авторы карты – коллектив кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В.Ломоносова

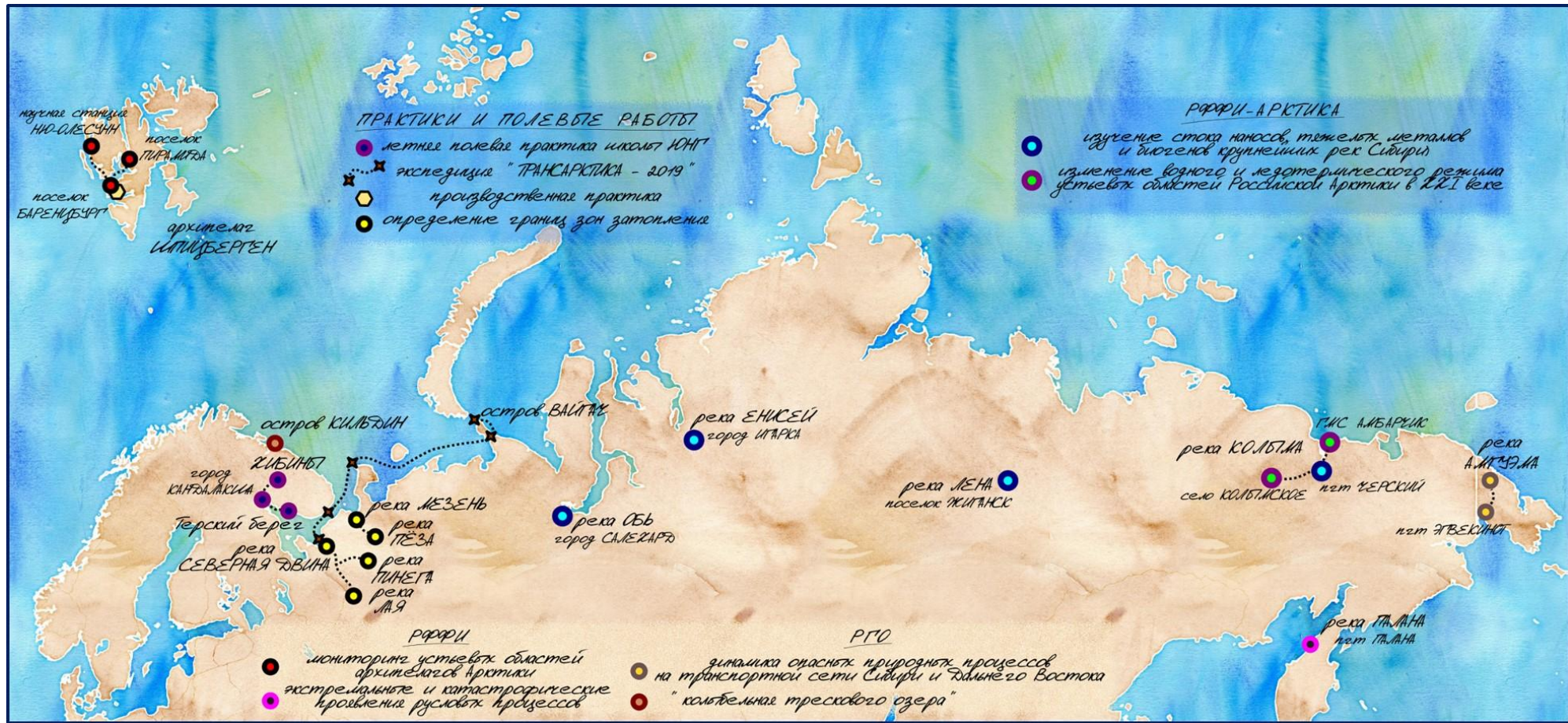
Фрагмент карты водного режима и модуля годового стока воды рек АЗРФ



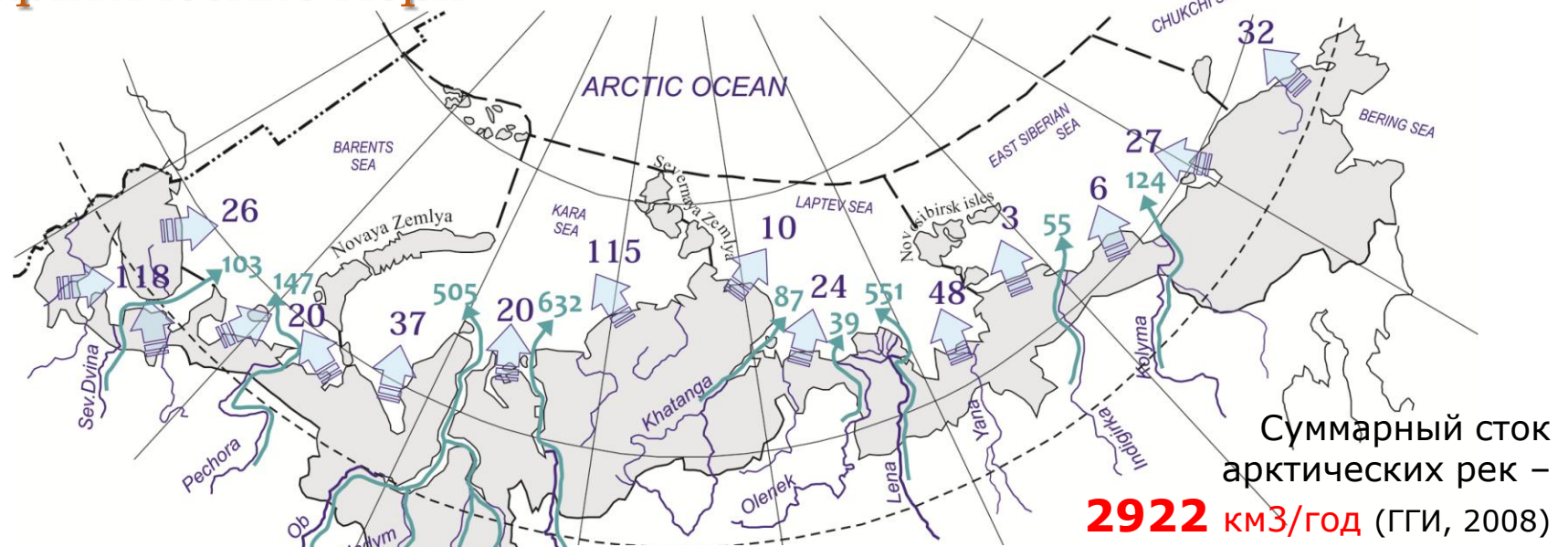
ПИТАНИЕ РЕК	ПРЕИМУЩЕСТВЕННО СНЕГОВОЕ, ДОЖДЕВОЕ, ПОДЗЕМНОЕ					ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ДОЖДЕВОЕ, ПОДЗЕМНОЕ, СНЕГОВОЕ			ДОЖДЕВОЕ И ПОДЗЕМНОЕ
ХАРАКТЕРНАЯ МНОГОГОДОВАЯ ФАЗА	ВЕСЕННЕЕ ПОЛОВОДЬЕ					ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЕ ПОЛОВОДЬЕ (ГОРНЫХ РЕК)			ДОЖДЕВЫЕ ПАВЛОДКИ ТЕПЛОГО ПЕРИОДА
ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД	УСТОЙЧИВАЯ МЕЖЕНЬ С ЭПИЗОДИЧЕСКИМИ ПАВЛОДКАМИ	ПРЕРЫВИСТАЯ МЕЖЕНЬ	ПРЕРЫВИСТАЯ МЕЖЕНЬ С ПАВЛОДКАМИ, ДОСТИГАЮЩИМИ ПО ВЫСОТЕ МАКСИМУМА ПОЛОВОДЬЕ	ПРЕРЫВИСТАЯ МЕЖЕНЬ	ПРЕРЫВИСТАЯ МЕЖЕНЬ С ПОСЛЕДИМИ ПАВЛОДКАМИ ПО ВЫСОТЕ МАКСИМУМА ПОЛОВОДЬЕ	ПАВЛОДОННЫЙ ПЕРИОД С ВОДОУСКОПОЯВЛЕНИЕМ ПРИБЛИЖИТЕЛЬНО РАВНОЙ ПЕРИОДА (ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЕ ПОЛОВОДЬЕ)	ПАВЛОДОННЫЙ ПЕРИОД С ВОДОУСКОПОЯВЛЕНИЕМ ПРИБЛИЖИТЕЛЬНО РАВНОЙ ПЕРИОДА (ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЕ ПОЛОВОДЬЕ)	ПАВЛОДОННЫЙ ПЕРИОД С ВОДОУСКОПОЯВЛЕНИЕМ ПРИБЛИЖИТЕЛЬНО РАВНОЙ ПЕРИОДА (ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕЕ ПОЛОВОДЬЕ)	10
ЗИМНИЙ ПЕРИОД	УСТОЙЧИВАЯ МЕЖЕНЬ	2	3	4	5	6	7	8	ВРЕМЕННЫЕ ВОДОСТОКИ АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ
			9						ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА
									<ul style="list-style-type: none"> ● СЕВРАЛЬ-МАРТ ● АПРЕЛЬ ● МАЙ ● ИЮНЬ ● МАЙ-СЕНТЯБРЬ ● ИЮНЬ-АВГУСТ
РЕКИ ПОЛУЧАЮЩИЕ ПИТАНИЕ ТАЛЫМИ ВОДАМИ									РЕКИ, НЕ ПОЛУЧАЮЩИЕ ПИТАНИЕ ТАЛЫМИ ВОДАМИ

Авторы карты – коллектив кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В.Ломоносова

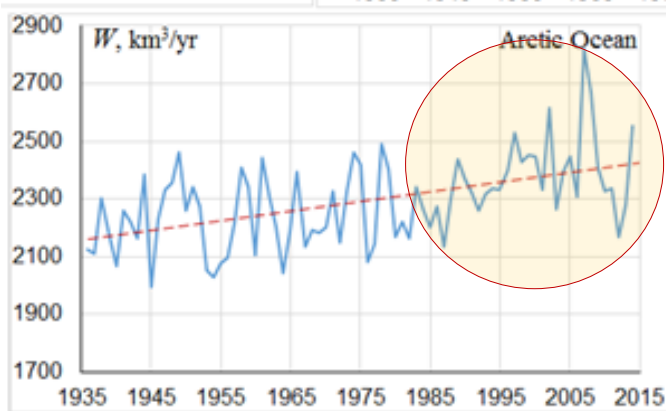
Экспедиции кафедры гидрологии суши МГУ в российской Арктике



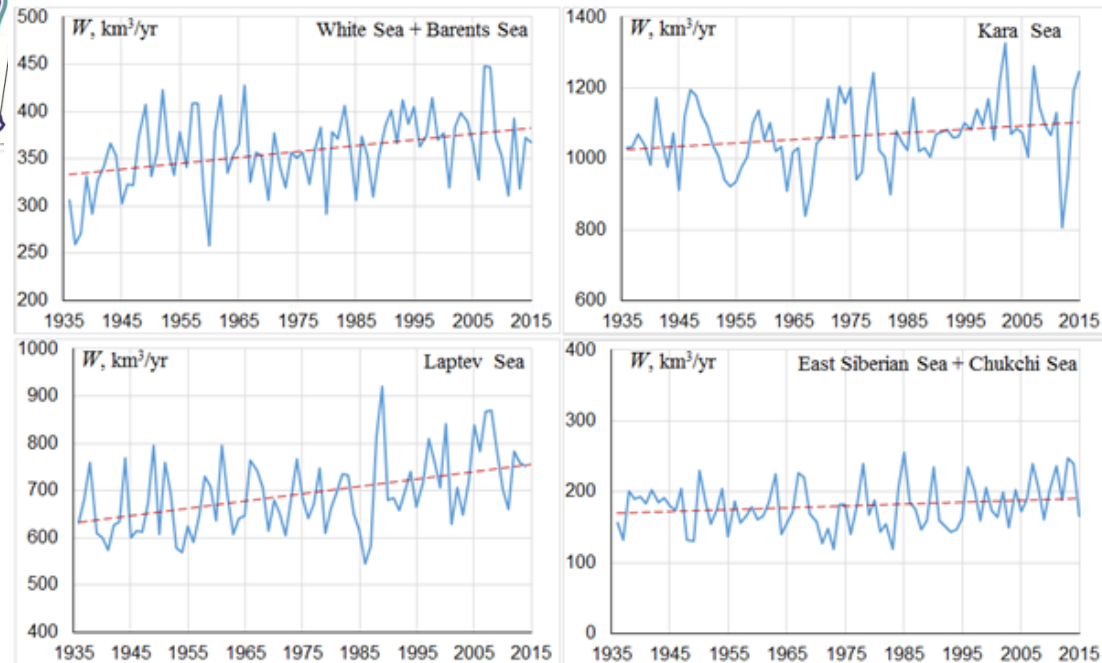
Оценка составляющих водного баланса речных бассейнов и поступления речных вод в арктические моря



Magritsky et al., 2018

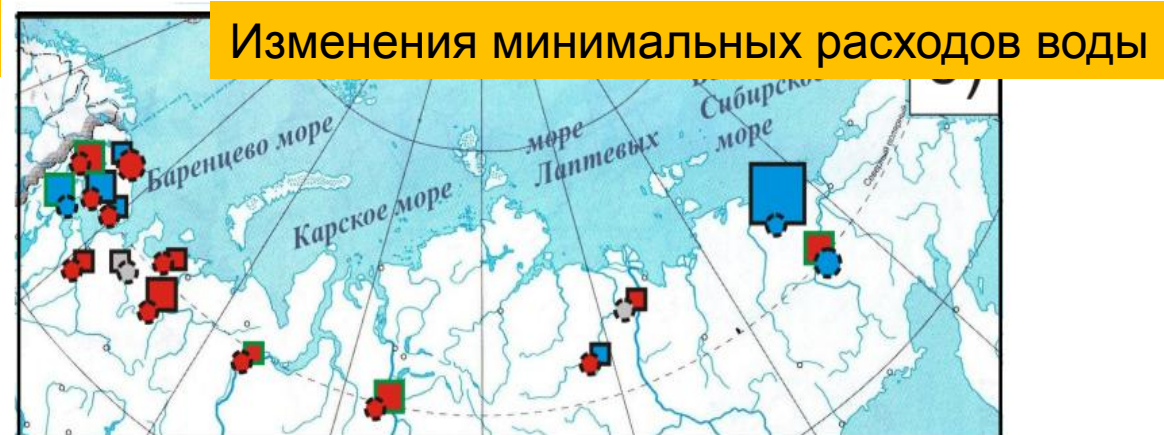
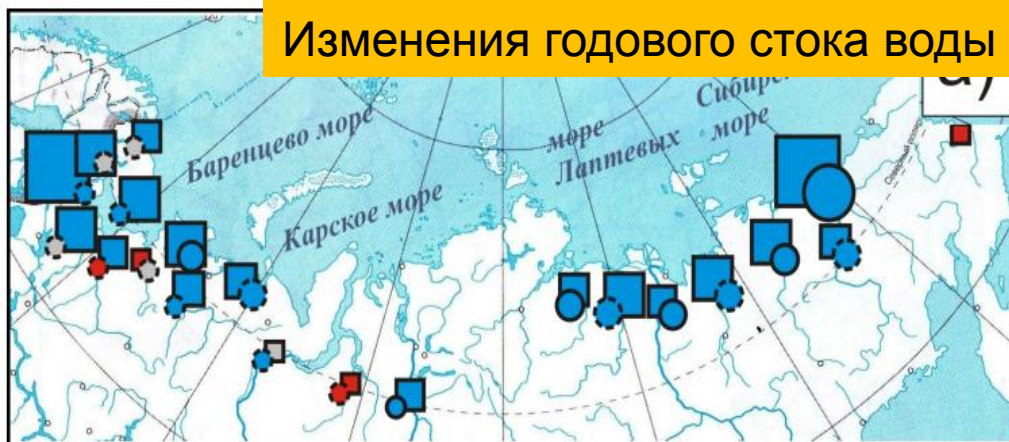


Многолетние колебания притока речных вод в арктические моря

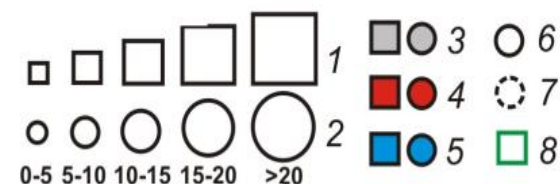


Река	Замы-кающий створ, км³/год	Устьевой створ, км³/год
Онега	15,7	16,1
Северная Двина	100	103
Мезень	20,1	27,3
Печора	110	147
Обь	401	411
Надым	14,3	18,2
Пур	28,2	32,7
Таз	32,8	45,1
Енисей	590	635
<u>Пясина</u>	–	71,2
Нижняя Таймыра	33,2	33,5
Хатанга	(73,0)	(87,1)
<u>Анабар</u>	14,7	18,0
Оленек	35,3	38,8
Лена	543	553
Яна	33,6	35,1
Индибирка	51,8	55,4
<u>Алазея</u>	1,63	3,3
КОЛЫМА	104	124

Изменения стока воды арктических рек



Изменения максимальных расходов воды



1 – относительная величина превышения стока в 1976–2015 гг. над стоком в 1936–1975 гг. (%);

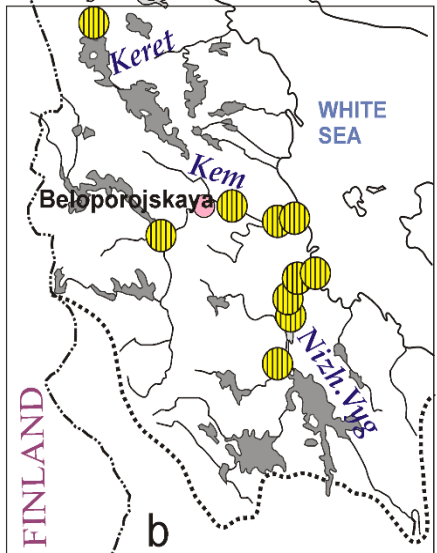
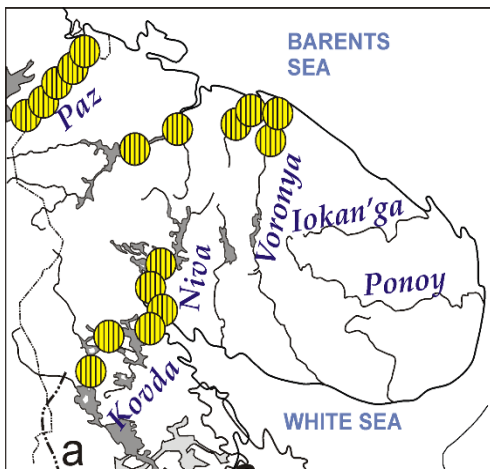
2 – величина линейного тренда за 1976–2015 гг. (в % величины за 1936–1975 гг. и за 10 лет);

3 – изменения незначительные ($-1\% > x < 1\%$); 4 – рост, 5 – уменьшение; 6 – тренд статистически незначимый;

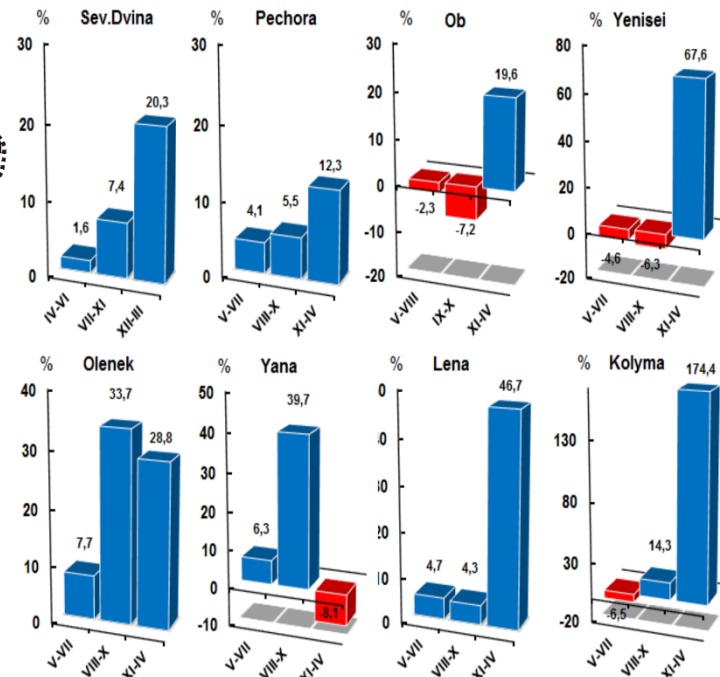
7 – значимый; 8 – заметное антропогенное влияние на водный режим

Водохозяйственная деятельность и ее воздействие на водный сток и режим арктических рек

ОСНОВНЫЕ ВОДОХРАНИЛИЩА



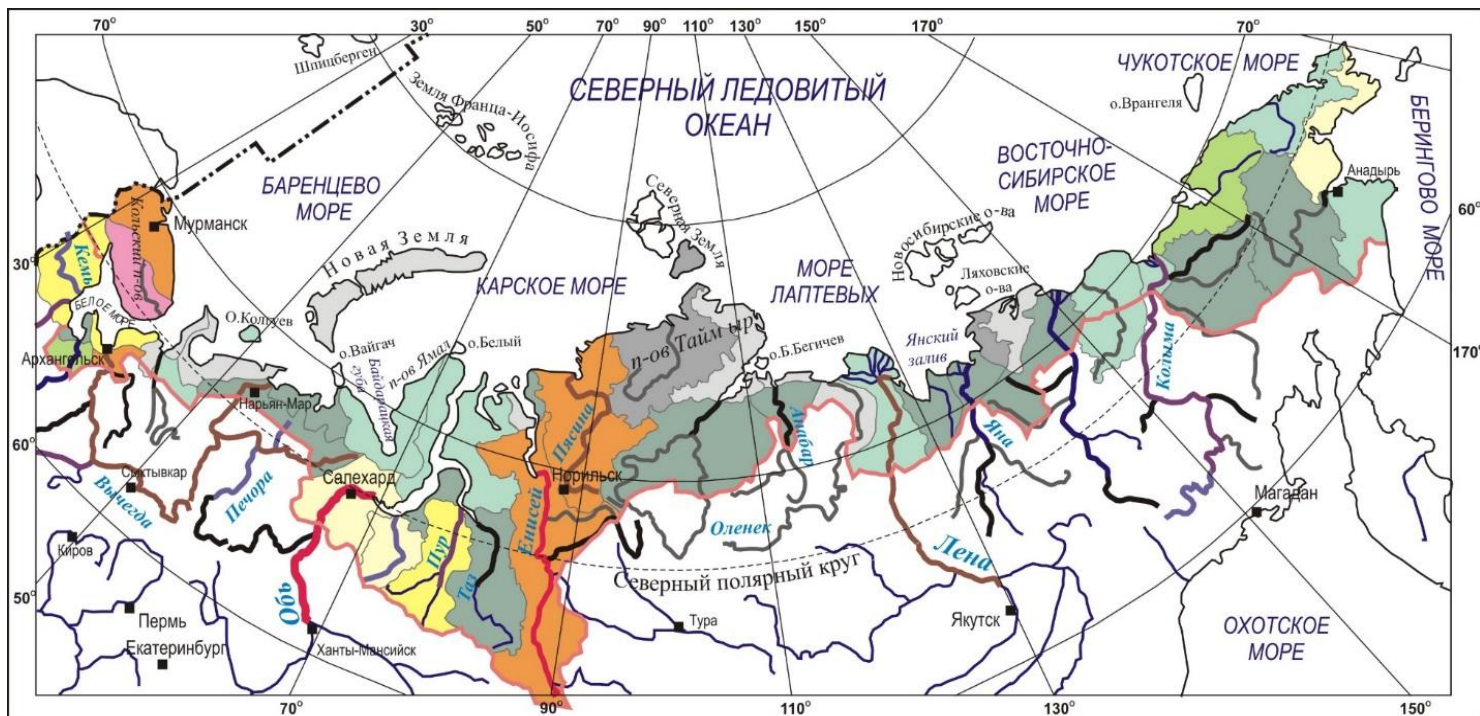
Внутригодовое распределение стока в 1976-2015 гг., в сравнении с 1935-1975 гг.



- 1 – граница арктического водосбора
 - 2 – границы речных бассейнов
 - 3 – государственная граница
 - 4 – бессточные территории
 - 5 – функционирующие гидроузлы
 - 6 – гидроузлы, не выведенные на полную мощность
 - 7 – гидроузлы в стадии строительства
- Магрицкий, 2008; Magritsky et al., 2018



Водохозяйственная деятельность и ее воздействие на водный сток и режим арктических рек



Величины водозабора в пределах характерных участков Арктической зоны России, млн м³/год



Величины водозабора на водосборах больших рек, показанные нарастающей суммой вдоль их русел, млн м³/год



Объемы и структура водопотребления на ключевых участках водосборов арктических морей России в 2006–2017 гг.

Территория	Среднеголетняя величина годового стока ²⁾ , км ³ /год		Забрано из водных объектов, км ³ /год		Сброшено сточных вод, км ³ /год	
	в замыкающем створе	в устьевом створе	всего	в т. ч. речных вод	всего	в т. ч. в речную сеть
Мурманская область	–	65,7	1,715	1,526	1,681	1,681
Бассейн Северной Двины	100	103	0,641	0,596	0,549	0,545
Бассейн Онеги	15,7	16,1	0,009	0,002	0,008	0,007
Бассейн Мезени	20,1	27,3	0,001	–	0,0007	0,0007
Бассейн Печоры	110	147	0,405	0,311	0,331	0,320
Бассейн Оби (в пределах РФ)	401	411	8,900	–	6,615	6,396
Бассейн Енисея	590	635	2,765	2,212	2,398	2,350
Бассейн Пясины ¹⁾	–	71,2	0,280	–	0,160	–
Бассейн Лены	543	553	0,309	0,158	0,268	0,222
Бассейн Индигирки ¹⁾	51,8	55,4	0,008	–	0,004	–
Бассейн Колымы	104	124	0,059	0,053	0,036	0,034
Чукотский АО	–	195	0,026	–	0,020	–

Примечание: ¹⁾ – за период 2009, 2012–2017 гг., ²⁾ – за период 1935–2015 гг.

Искусственные заборы воды в Арктической зоне Российской Федерации и на водосборах транзитных арктических рек и их притоков (по состоянию на период после 2005 г.).



ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ПРОЦЕССЫ В УСТЬЯХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК, ИХ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

распределение стока воды между основными рукавами дельты р.Лены по материалам натуральных измерений



Магрицкий и др. 2018

ВД

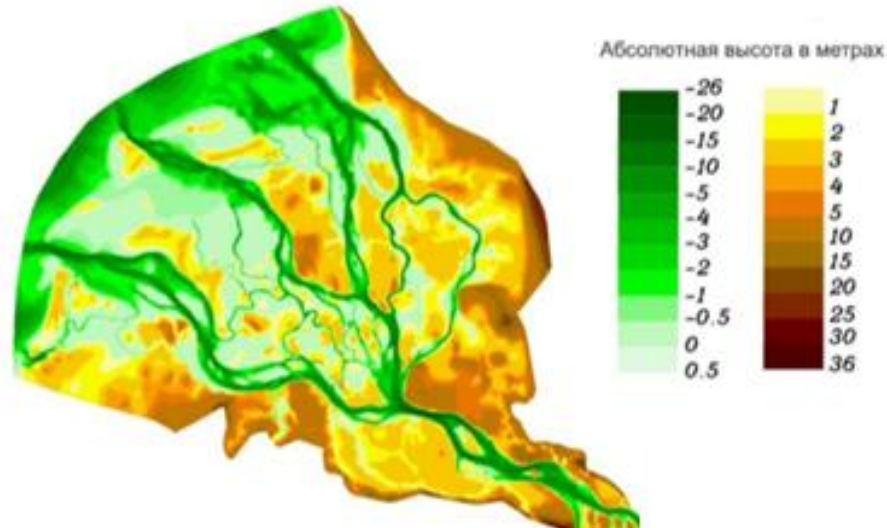
Река Лена – пост Кюсюр, м ³ /с	Распределение расходов воды в дельте р.Лены во время открытого русла								
	Быковская протока		Трофимовская пр.		Туматская пр.		Оленекская протока		Отклонения в, % от расхода воды на посту «4.7 км»
	м ³ /с	% от суммар- ного Q	м ³ /с	% от суммар- ного Q	м ³ /с	% от суммар- ного Q	м ³ /с	% от суммар- ного Q	
10000	2000	21,3	6800	72,3	200	2,1	400	4,3	4,5
20000	4800	24,4	13000	66,1	825	4,2	1040	5,3	3,5
30000	7500	25,1	18900	63,3	1670	5,6	1800	6,0	3,5
50000	13500	26,4	30000	58,8	3800	7,4	3750	7,3	5,5
80000	23500	27,5	46500	54,4	7700	9,0	7800	9,1	12,5
100000	29500	27,7	55500	52,1	10700	10,0	10800	10,1	15,0
120000	34300	27,6	63000	50,6	13300	10,7	13900	11,2	15,5
140000	39000	27,8	70000	49,9	15000	10,7	16200	11,6	14,5

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ПРОЦЕССЫ В УСТЬЯХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК, ИХ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

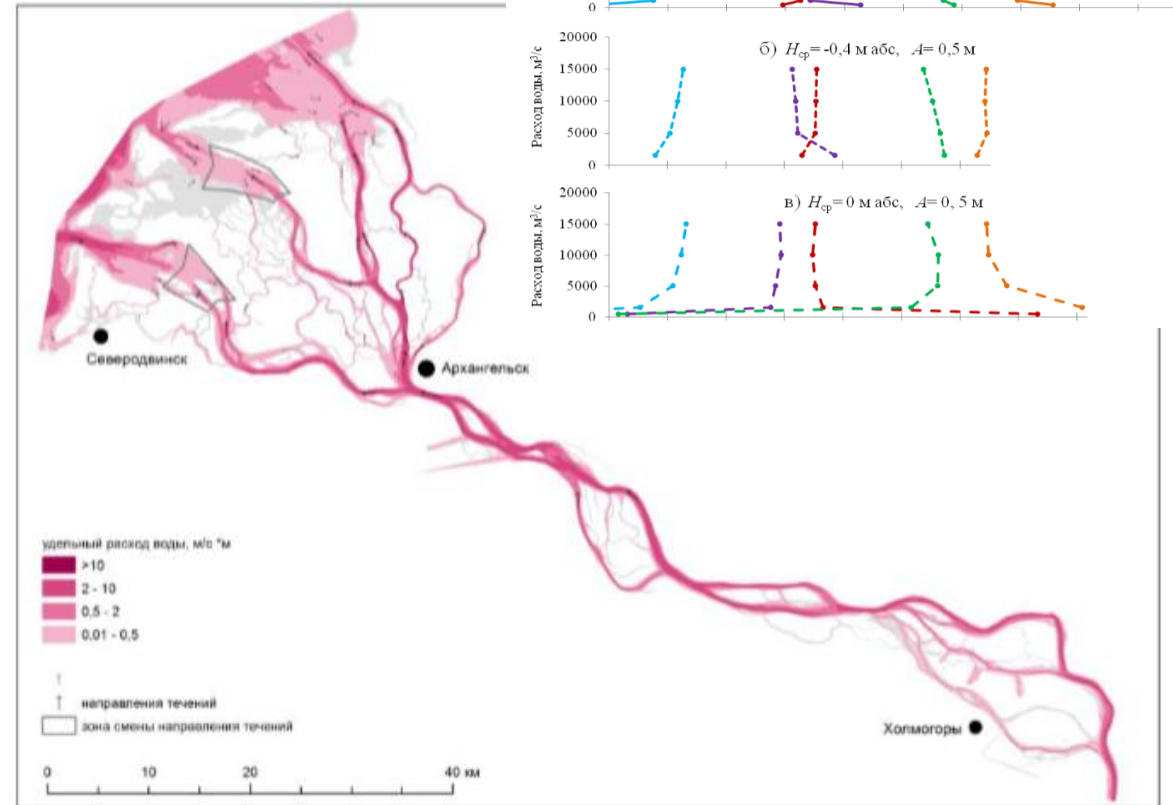
решение задач расчета распределения стока воды по водотокам и затоплений численными методами



Дельта Северной Двины



цифровая модель рельефа

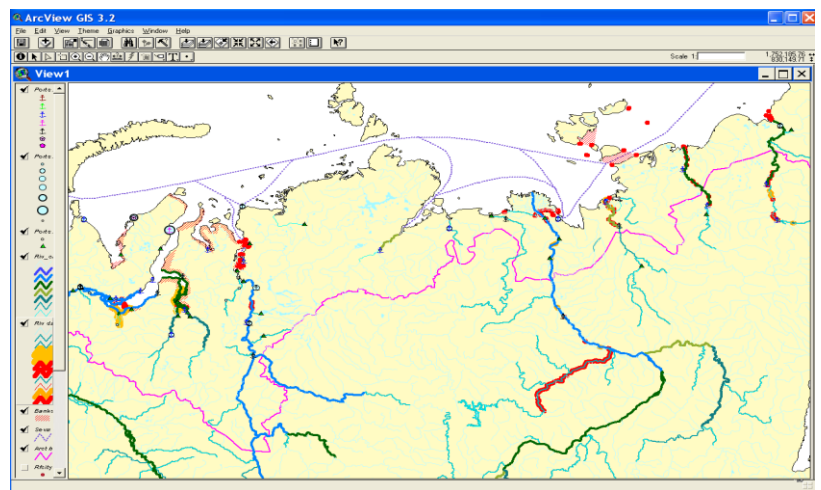


Пример схемы пространственного распределения удельных расходов воды и направлений течения в ходе приливного цикла по результатам моделирования (3-й час приливного цикла).

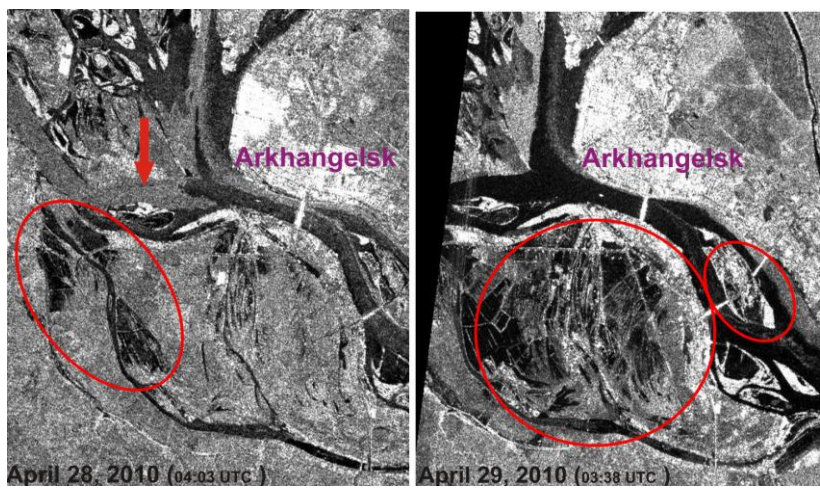
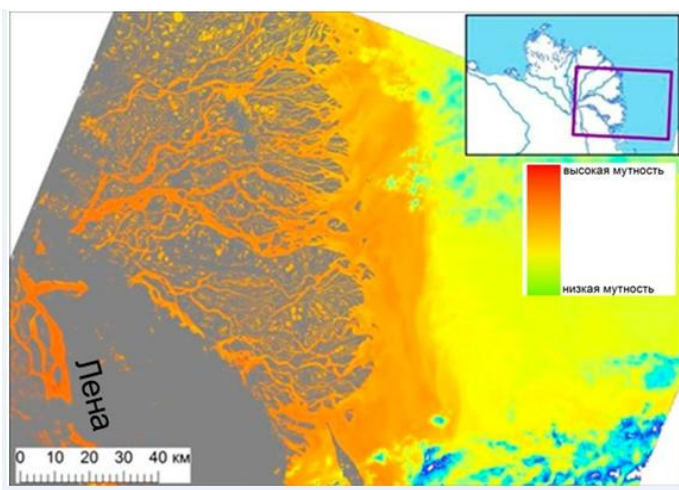
на базе программного комплекса STREAM 2D

Лебедева С.В.

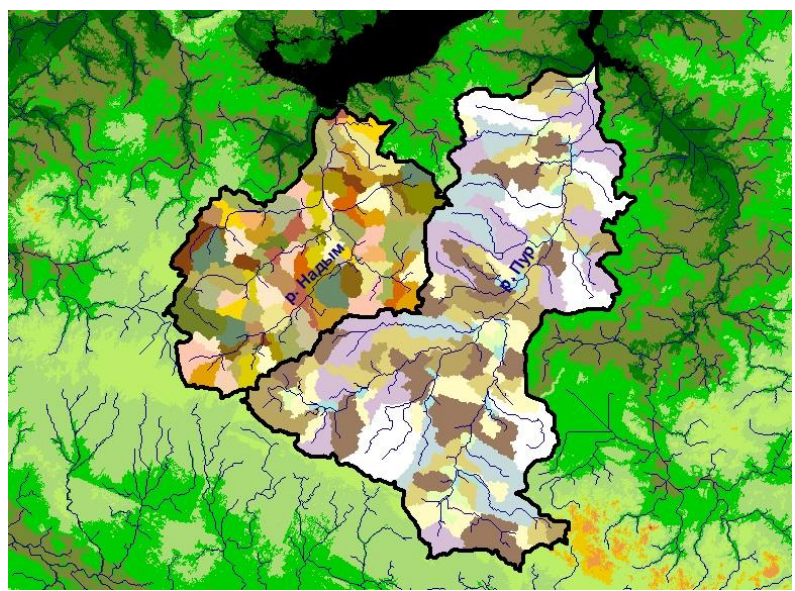
Новые технологии изучения, мониторинга и численного воспроизведения гидрологических процессов и явлений в российской Арктике, применяемые на кафедре гидрологии суши МГУ



Фрагмент Геоинформационной системы (ГИС) водных путей и портовой инфраструктуры АЗРФ с проблемными участками (КГС МГУ)

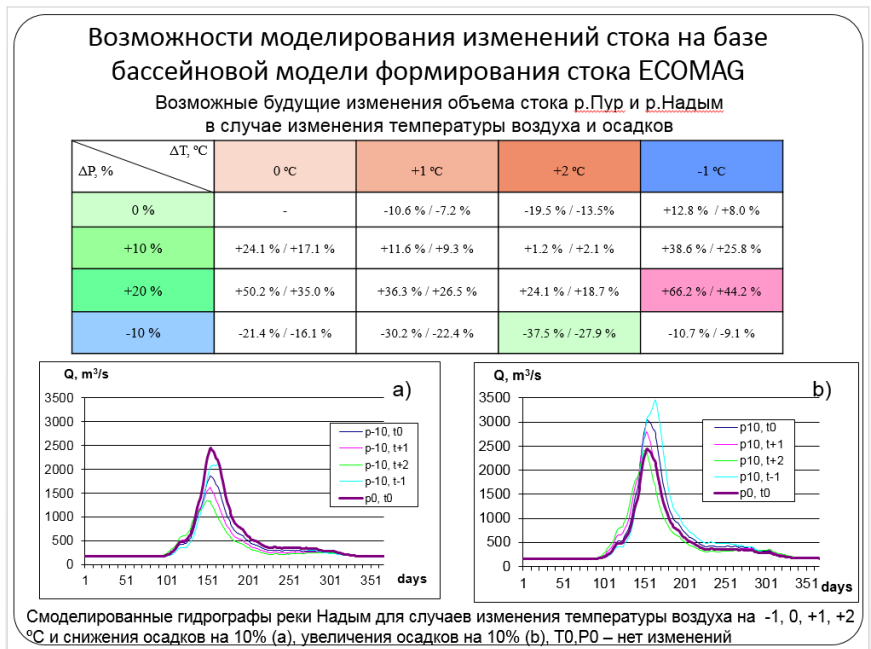


Спутниковый мониторинг гидрологических процессов в Арктике



Физико-математическое моделирование процессов формирования стока на водосборах арктических рек и гидрографов в гидростворах.
Численное моделирование динамики русловых и пойменных потоков, в том числе при речных затоплениях и наводнениях

Крыленко и др., 2016



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!

