

Оценка диффузного и точечного техногенного загрязнения и переноса загрязняющих веществ в речных системах полуострова Таймыр

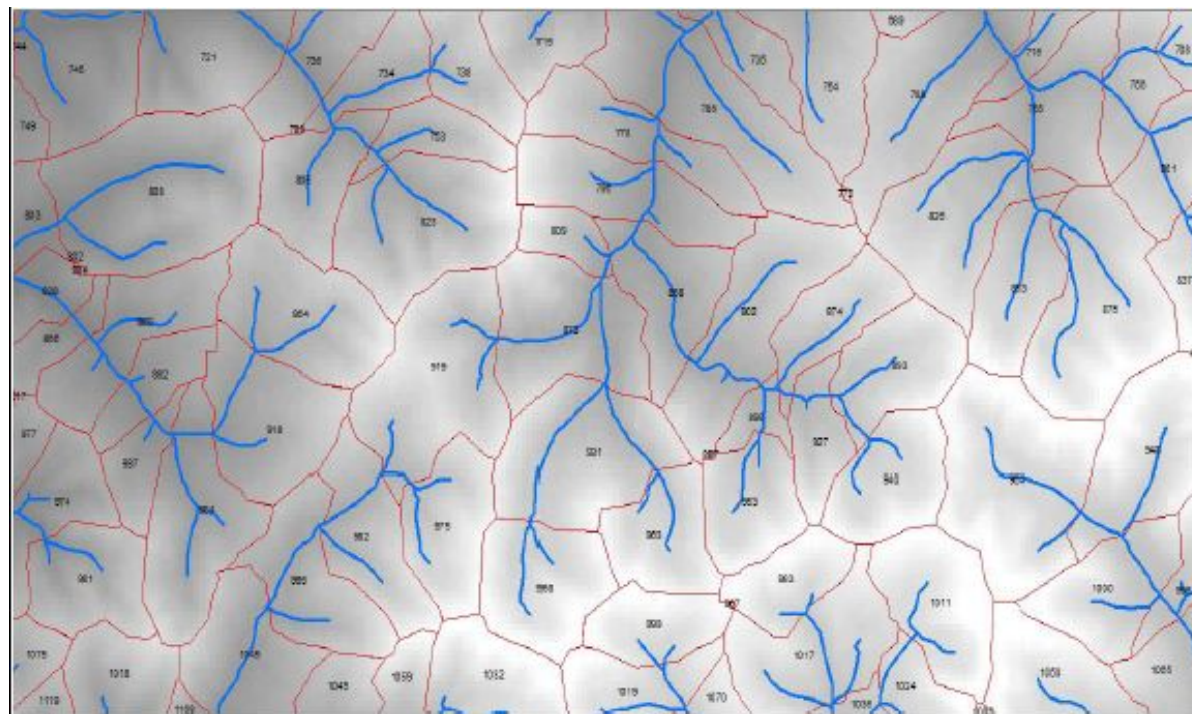


Лаборатория гидрологии ИГ РАН
Ясинский С.В., Кашутина Е.А.,
Сидорова М.В., К.В. Лукьянов,
М.Б. Алиева, а также А.С.
Добрянский

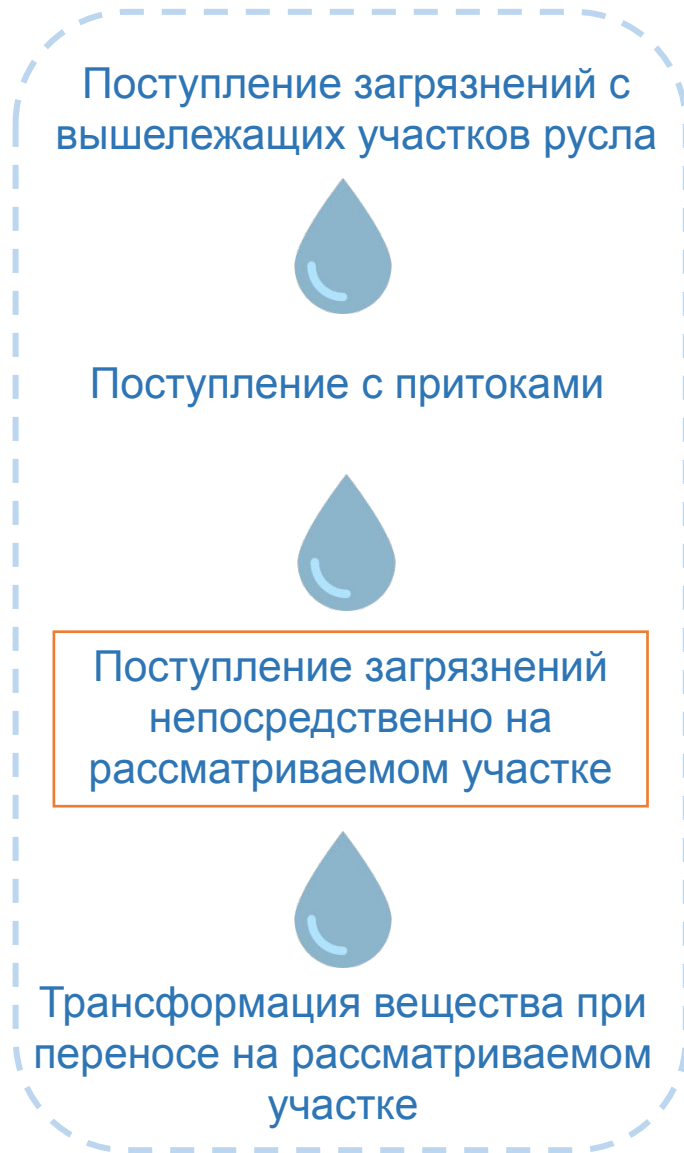
Оценка значений массопереноса по длине водного объекта. Бассейновый подход

Качество воды в притоках и руслах рек любой территории, в том числе и полуострова Таймыр, обусловлено поступлением загрязняющих веществ от точечных и площадных (рассеянных) источников загрязнения, расположенных на их водосборах, и трансформацией потока этих ЗВ по длине речной системы.

Движение веществ происходит по иерархической системе водосборных участков



Какими путями поступают техногенные загрязняющие вещества на участок реки?



- Точечные организованные источники загрязнений
- Диффузное (рассредоточенное) загрязнение от площадных источников
- Диффузное (рассредоточенное) загрязнение от локальных неорганизованных техногенных источников

Контролируемые сбросы предприятий, заводов, поселков

Поступление загрязнений из атмосферы с жидкими и твердыми осадками, из талого слоя почв

Месторождения, отвалы, шламо- и хвостохранилища, свалки, дороги и т.д

Поток загрязняющих веществ (R_i) оценивается по концентрации вещества (C_i) и объему поступающей воды (W_i) для каждого типа источника

$$R_i = C_i * W_i$$



Оценка мощности источников загрязнения на рассматриваемом участке

1) Определение фоновой концентрации вещества на участке

Приводятся по материалам гидрохимических наблюдений, данным организаций и ведомств, литературным данным и экспедиционным исследованиям.

Поступление вещества на участке

2) Точечные источники загрязнений

Учитываются средняя концентрация вещества за сезон, средний расход источника за сезон - рассчитывается поток химических веществ в месте поступления (по отчетам водопользователей); определяются фоновые и дополнительные (привнесенные) концентрации химических веществ в различных средах (снег, жидкие осадки, почвы и т.д.). На основании наблюдений, литературных источников и дополнительных исследований определяется коэффициент стока для исследуемой водосборной территории; Степень воздействия определяется в зависимости от характера источника (концентрации ЗВ и поток в исследуемый участок)

3) Диффузное загрязнение от площадных источников

4) Диффузное загрязнение от локальных неорганизованных техногенных источников



Расчет баланса массы вещества на рассматриваемом участке

Массоперенос химического вещества через нижний створ расчетного участка определяется как поступление вещества через верхний створ расчетного участка плюс масса вещества от всех источников в пределах участка минус масса вещества, отбираемая с водозабором на участке.

$$G_H = G_B \times H_{G_B} + \sum (P_g \times H_{P_g}) + \sum (R_i \times H_{R_i}) + D \times H_D + \sum (B_j \times H_{B_j}) + U \times H_U - \sum W_f + \Delta$$

где G_H – массоперенос через нижний створ расчетного участка

G_B – массоперенос химического вещества через верхний створ расчетного участка

P_g – приток массы химического вещества по g -ому выпуску сточных вод на расчетном участке

R_i – приток массы химического вещества по i -ому притоку на расчетном участке

D – приток массы химического вещества от диффузных источников (осаждение из атмосферы и поступление из почвогрунтов) с локального водосбора расчетного участка

B_j – приток массы химического вещества от j -ого неорганизованного техногенного источника с учетом трансформации на участке

U – приток массы химического вещества от донных отложений на расчетном участке с учетом трансформации на участке

W_f – изъятие массы химического вещества на f водозаборе на расчетном участке

H – параметр трансформации для каждого источника

Δ – невязка баланса

Разработано на основе Р 52.24.867-2017. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МАССОПЕРЕНОСА ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С ВОДНЫМ СТОКОМ ПО УЧАСТКАМ РЕКИ. Ростов-на-Дону, Государственный гидрохимический Институт, 2017, с учетом трансформации и диффузных источников



Трансформация потока загрязняющих веществ

Разбавление

(сток воды на рассматриваемом участке)

$$N = \exp(-K \times \tau)$$

N - параметр трансформации для каждого источника,
 τ - время добегающего от места поступления вещества на расчетный участок до замыкающего створа. Зависит от скорости течения.

K – суммарный коэффициент скорости самоочищения речной воды от химического вещества

концентрация вещества не может опускаться ниже фоновой

Самоочищение


(температура воды, скорость течения, время продвижения вещества по участку)

Таблица 1 - Ориентировочные значения суммарных коэффициентов скорости самоочищения речной воды от некоторых веществ K

Вещества и групповые показатели химического состава воды	Значения K , 1/сут, при температуре воды, °C		
	менее 10	от 10 до 15	более 15
Азот аммонийный	0,60	0,91	1,50
Аминофенол	0,16	0,44	0,60
Алкилсульфонат (АС) без наполнителя	0,44	1,50	2,10
Алкилсульфонат керосиновый	0,05	0,18	0,31
Ацетанилид	0,18	0,60	0,91
Бензальдегид	1,19	4,51	6,61
Бензин	0,05	0,16	0,23
БПК ₅	0,31	0,60	0,91
Гваякол	0,05	0,18	0,31
Гидрохинон	0,03	0,05	0,08
Глицерин	0,91	3,29	4,80
Дизельное топливо	0,05	0,16	0,23
Дисольван-4411	0,01	0,03	0,44
Железо общее	0,10	0,20	0,29
Капролактамы	0,01	0,02	0,02
Карвакрол	0,02	0,08	0,13
Керосин	0,09	0,31	0,44
Кислота адипиновая	0,08	0,31	0,31

Насколько значительна внерусловая трансформация потока загрязняющих веществ (трансформация водосбором) в зоне вечной мерзлоты?





Для **оптимального** решения задачи оценки диффузного и точечного техногенного загрязнения и переноса загрязняющих веществ в речных системах полуострова Таймыр необходимы:



Результаты систематических гидрохимических и гидрологических измерений (расходы воды, скорости течения, концентрации веществ в створах);



Результаты систематических наблюдений за поступлением химических веществ от основных источников (притоки, сточные воды) и водопользованием (водозаборы и т.д.).



Информация о фоновом содержании веществ в водах, осадках, грунтах



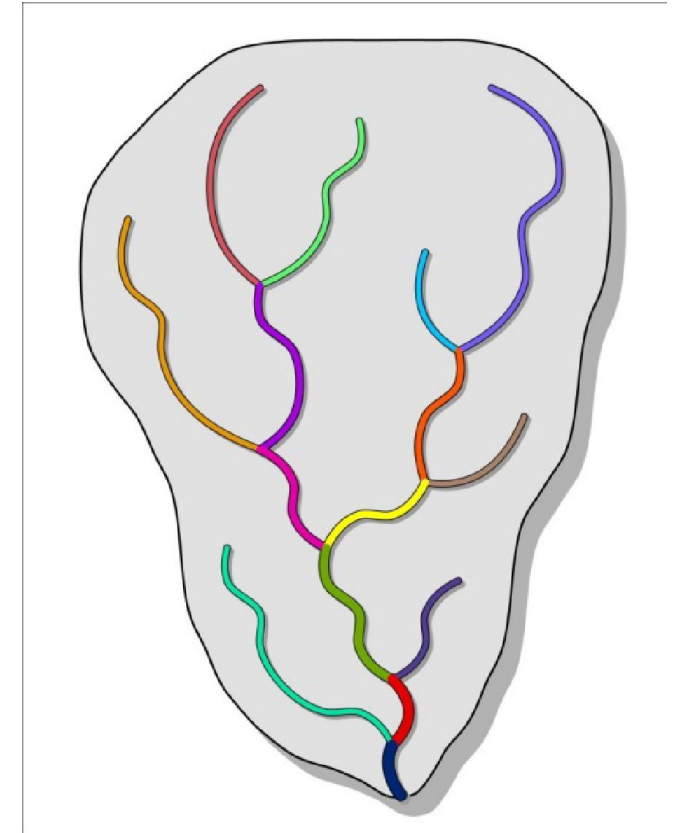
База данных Hydrosheds

Гидрологическая, климатическая,
ландшафтная, частично социально-
экономическая информация

Схематизация гидрографической сети,
используемая в наборе данных HydroRIVERS.

Каждый расчетный участок
гидрографической сети соответствует:

- либо участку реки между двумя притоками
- либо участку реки между истоком реки и ее притоком
- либо участку реки между притоком реки и устьем реки
- либо проточному водоему в гидрографической сети



Данные для расчетов

Оценка потоков воды: сейчас *БД Hydrosheds*:

Каждый расчетный участок в БД имеет свой id и информацию об id нижележащего участка. Известен порядок каждого участка реки (так определяется структура сети)

Морфометрические характеристики участка реки: длина, продольный уклон, объем воды на участке, расходы воды на участке: среднемноголетний, за месяц с минимальным стоком, за месяц с максимальным стоком.

Оценка потоков веществ - загрязнителей:

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов: 2ТП водхоз. Результаты систематических наблюдений за поступлением химических веществ от основных источников (притоки, сточные воды) и водопользованием (водозаборы и т.д.).

Отчеты природоохранных организаций (Bellona)

Расчеты сотрудников ИФА РАН о поступлении загрязнения из атмосферы

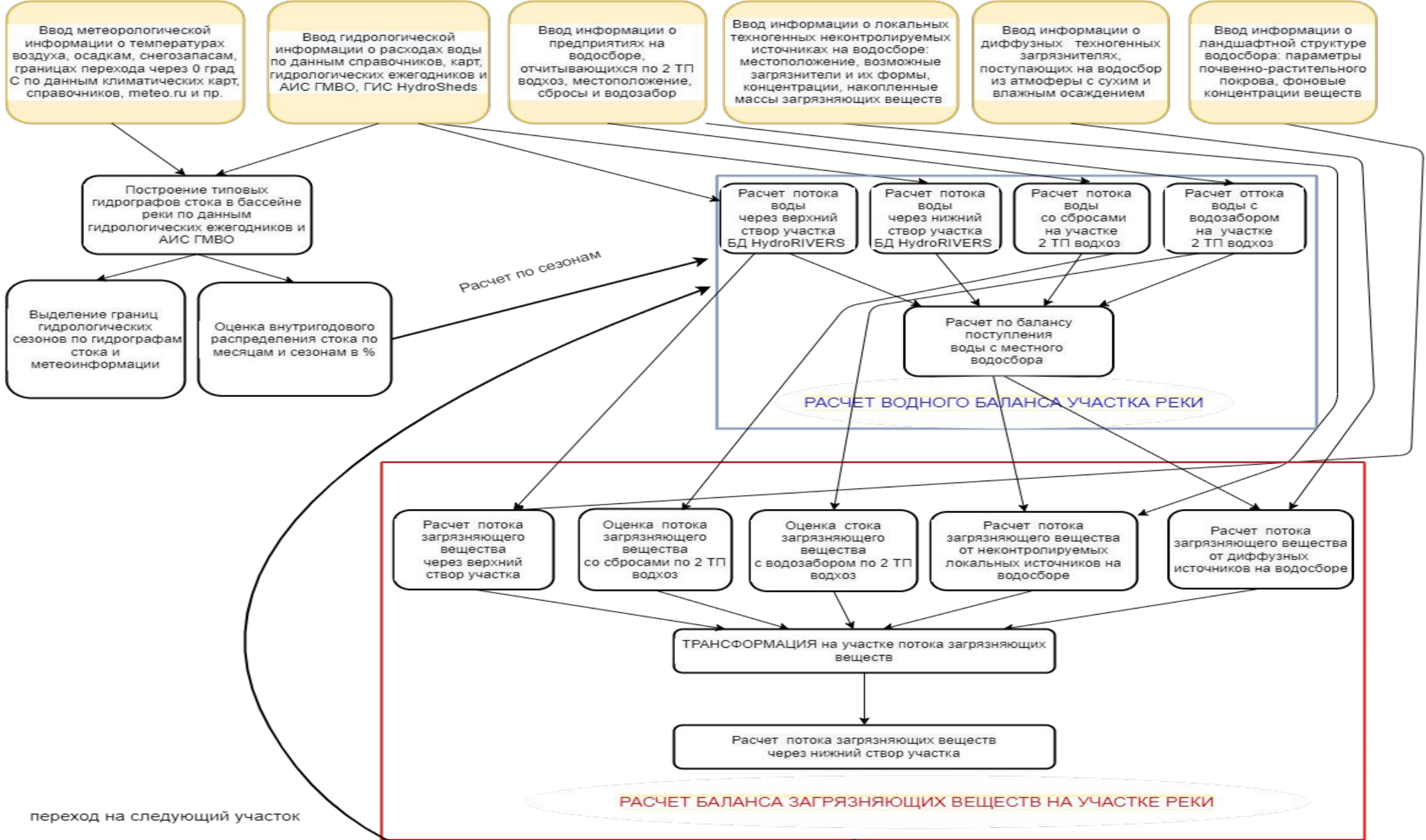
Информация о фоновом содержании веществ в водах, осадках, грунтах – литературные данные, зачастую отрывочные. *Привлечение гидрогеологической информации о составе пород подстилающей поверхности?*



Информация в АИС ГМВО по бассейну Пясины. 2009-2021 гг.

Водный объект	Объем СВ, имеющих загрязняющие ВВ (тыс. куб. м)	Нефтепродукты (нефть) (т)	Сульфат-анион (сульфаты) (т)
Всего	85175,78	5,708	26782,952
КАР/ПЯСИНА/818/72 - НОРИЛЬСКАЯ	6363,91	0,910	6814,059
КАР/ПЯСИНА/818/72/12 - Р.ТАЛНАХ	22129,97	2,011	6091,202
КАР/ПЯСИНА/818/72/19 - Р.ОЛЬ-ГУЛЬ	8,58		
КАР/ПЯСИНА/818/72/29/5 - ОЗ. ВЫГОДНОЕ	904,28	0,029	
КАР/ПЯСИНА/818/72/36/4 - Р. ЕРГАЛАХ	0,68	0,000	
КАР/ПЯСИНА/818/72/5 - ХАРАЕЛАХ	296,79	0,006	
КАР/ПЯСИНА/818/72/5/13 - ВОДОХРАНИЛИЩЕ ХАРАЕЛАХСКОЕ	35,72	0,001	2,486
КАР/ПЯСИНА/818/72/5/16 - ОЗ. КЫЛЛАХ-КЮЕЛЬ	396,07	0,024	3,189
КАР/ПЯСИНА/818/77 - Р.АМБАРНАЯ	27,29	0,001	
КАР/ПЯСИНА/818/77/17 - Р.ДАЛДЫКАН	3343,97	0,112	2855,007
КАР/ПЯСИНА/818/77/17/9 - РУЧ. НАДЕЖДЕНСКИЙ	1425,95	0,059	
КАР/ПЯСИНА/818/77/20 - КАЙЕРКАН	9902,63	0,674	5120,480
КАР/ПЯСИНА/818/78 - Р.ЩУЧЬЯ	31687,77	1,728	3891,235
КАР/ПЯСИНА/818/78/19 - НОВАЯ НАЛЕДНАЯ	3828,44	0,069	
КАР/ПЯСИНА/818/78/19/15 - Семёрка	9,54		0,316
КАР/ПЯСИНА/818/78/19/7 - ОЗ.ГРС,НОВ.НАЛЕДНАЯ	34,31		1,569
КАР/ПЯСИНА/818/78/29 - РУЧ.МЕДВЕЖИЙ(БАС.Р.ЩУЧЬЯ)	2383,56	0,004	
КАР/ПЯСИНА/818/78/8 - КУПЕЦ	2133,12	0,071	2002,711
КАР/ПЯСИНА/818/80 - АМБАРНАЯ	10,06	0,000	0,626
КАР/ПЯСИНА/818/85 - ЩУЧЬЯ	12,23		
КАР/ПЯСИНА/818/85/30/30 - НОВАЯ НАЛЕДНАЯ	1,18		0,072
КАР/ПЯСИНА/818/90/2 - ТОМУЛАХ	239,73	0,009	

Объем СВ, имеющих загрязняющие ВВ (тыс. куб. м)
АСПАВ (анионные синтетические поверхностно-активные вещества) (кг)
Алкилсульфонаты (кг)
Алюминий (кг)
Аммоний-ион (т)
БПК полн. (т)
Бутилксантогенат натрия (кг)
Взвешенные вещества (т)
Железо (кг)
Кальций (кг)
Кобальт (кг)
Магний (кг)
Марганец (кг)
Медь (кг)
Натрий (кг)
Нефтепродукты (нефть) (т)
Никель (кг)
Нитрат-анион (кг)
Нитрит-анион (кг)
Свинец (кг)
Сульфат-анион (сульфаты) (т)
Сухой остаток (т)
Тетрахлорметан (четырёххлористый углерод) (кг)
Трихлорэтилен (кг)
Фенол,гидроксibenзол (кг)
Фосфаты (по фосфору) (т)
ХПК (кг)
Хлорид-анион (хлориды) (т)
Хлороформ (трихлорметан) (кг)
Цинк (кг)



переход на следующий участок

Проблемы

1. Наполнение БД Hydrosheds:

На ряде участков реки отмечается отрицательный баланс воды – поступление на участок превышает отток с участка. Нет детальной информации о внутригодовом распределении параметров стока для месяцев и сезонов. Диффузный сток (боковой приток) на участке оценивается по разнице между выходом и входом. При отрицательном балансе воды на участке неверно оценивается диффузный сток.

Проблема с климатической информацией – речной сток превышает осадки. Пока не использовали в расчетах

2. Мониторинг. Недостаточность данных систематических гидрохимических и гидрологических измерений (расходы воды, скорости течения, концентрации веществ в створах)

3. Водохозяйственная отчетность: недостатки 2 ТП водхоз. Возможный недоучет, годовое разрешение, информация интегрирована по бассейнам, нет привязки к источнику загрязнения

4. Пока нет информации о техногенных объектах как источниках поступления ЗВ на водосборе, вне гидрографической сети

5. Вопросы трансформации вещества водосбором, а для некоторых веществ –нет



Предварительные результаты

1. Разработан алгоритм и создана расчетная программа формирования потоков загрязняющих веществ в бассейне реки с интеграцией в ГИС
2. Получены предварительные оценки вклада диффузных и точечных источников в поступление сульфатов в бассейн р. Пясины:
 - Диффузные источники: осаждение из атмосферы (по данным ИФА) около 185 тыс. тонн в год
 - Точечные контролируемые источники (со сточными водами предприятий):
 - по данным 2 ТП водхоз около 20 тыс тонн в год (2009-2021 гг.);
 - по отчету Bellona около 11 тыс. тонн в год
3. Несмотря на интегральное превышение для всего водосбора поступления сульфатов от диффузных источников над точечными, на локальных участках водосбора главную роль могут играть именно локальные техногенные источники
4. По предварительным данным расчетов для среднесноголетнего периода в среднем за год нет постоянного превышения ПДК по сульфатам практически на всей территории бассейна Пясины, за исключением небольшого участка (в районе Норильска?):

Участок	Нижележащий участок	порядок реки по Стралеру	dis_m3_pyr(i)	Сток воды в русле в начале участка, м3/с	с, мг/л	ПДК, мг/л	Превышение в ПДК
30076238	30076239	2	0.713	0.733	381.3445	100	3.8
30076239	30076119	2	0.826	0.846	337.6381	100	3.4
30076119	30075792	2	0.969	0.989	293.1631	100	2.9
30075792	30075105	2	1.745	1.765	174.8197	100	1.7

Дальнейшие шаги

1. Визуализация результатов
2. Учет сезонности
3. Более подробный учет геохимических циклов веществ
4. Переход к собственной гидродинамической модели стока для устранения неопределенностей
Hydrosheds ?



Спасибо за внимание!



Доп. информация



Источники загрязнений могут быть как организованные, точечные, так и неорганизованные.



Организованные источники – точки сброса сточных вод предприятий. Информация об объемах и характеристиках таких сбросов доступна и собирается для использования при Оценке кумулятивных воздействий. Данные о стоках, предоставленные природопользователями государственными природоохранными органами, будут собраны в базе данных проекта и станут источником данных для моделирования в ГИС.



Неорганизованные источники загрязнений значительно сложнее для учета. Такими источниками могут быть:

- смыв с нарушенных промышленным освоением территорий;
- смыв с территории поселений, предприятий, свалок;
- осаждение загрязнителей, выброшенных предприятиями в атмосферу;
- вымывание из толщи породных отвалов;
- Аварийные сбросы, в т.ч. нефтепродукты и пульпа из шламохранилищ.



Климатические характеристики Пясины

- ❖ Среднемноголетняя температура воздуха в бассейне Пясины составляет $-12\dots-15^{\circ}\text{C}$. Наиболее тёплый месяц – июль (средняя температура $+1,5\dots+6,5^{\circ}\text{C}$). Абсолютный минимум -56°C . Зима суровая, продолжительная, с сильными ветрами и метелями.
- ❖ Снежный покров устанавливается в бассейне реки в период с конца августа до конца октября. Раньше всего (в конце августа) он появляется на побережье морей Карского и Лаптевых, на вершинах Бырранга и Путорана.
- ❖ Мощность многолетнемёрзлых пород в бассейне Пясины изменяется от более 500 м (Нижняя Пясина) до менее 500 м (Верхняя Пясина).
- ❖ Наибольшее количество осадков выпадает в июле–августе. Их среднемноголетняя величина изменяется от 35 до 200 мм. Наименьшее количество осадков выпадает зимой – в январе–феврале. Среднемноголетнее количество осадков на [водосборе](#) около 500–600 мм. Количество осадков, выпадающих в виде снега, составляет 30–40% общей годовой суммы.

Н.Л. Фролова, И.В. Федорова, Г.В. Пряхина, Вода России, электронная энциклопедия

Гидрологическая изученность и гидрологический режим Пясины

- ❖ В бассейне Пясины водный режим рек ранее изучался на 54 гидрологических постах. Почти половина из них была расположена на малых реках с бассейнами площадью менее нескольких десятков квадратных километров. Большинство постов было организовано в начальный период развития Норильского промышленного района (1940–1960 гг.). В настоящее время действует шесть речных гидрологических постов, в том числе четыре – на крупных реках (Пяси́на, Норильская).
- ❖ ***Основной источник водного питания рек – талые снеговые воды, их доля составляет около 60% общего годового стока реки; примерно по 20% приходится на дождевое и подземное питание.***
- ❖ Для режима реки характерно весенне-летнее половодье, летне-осенняя межень, прерываемая дождевыми паводками, и низкая зимняя межень. Максимум половодья приурочен к концу июня – началу июля. Среднемноголетний расход воды в истоке реки при выходе из озера Пясино составляет 560 м³/с (17,674 км³/год), в устье – 2600 м³/с (82,059 км³/год). Средний модуль стока 30,8 л/(с·км²), максимальный – 120 л/(с·км²).
- ❖ **Коэффициент стока изменяется от 0,6 до 0,8. Средняя температура воды в июле +9°С, в сентябре +4°С.**
- ❖ Ледостав устанавливается с конце сентября – начале октября и длится до июня.

Статистические характеристики годового и сезонного стока воды р. Норилка – пос. Валек (по Румянцева Е.В., 2012)

Гидрологическая характеристика	Период	Кол-во лет	Среднее	Наимен.	Наибол.	σ	C_v
Объем годового стока воды, км ³	1938-2005	67	14,1	7,04	21,1	2,65	0,19
	1938-1955	17	14,9	11,7	17,6	1,42	0,10
	1956-1987	32	12,9	7,04	18,3	2,25	0,18
	1988-2005	18	15,7	10,7	21,1	3,11	0,20
Объем стока воды за теплый период (VI-X), км ³	1938-2005	67	12,2	5,49	18,6	2,40	0,20
	1938-1955	17	12,5	10,0	15,3	1,39	0,11
	1956-1987	32	11,2	5,49	15,4	2,11	0,19
	1988-2005	18	13,6	8,70	18,6	2,85	0,21
Объем стока воды за холодный период (XI-V), км ³	1938-2005	67	1,98	1,07	3,71	0,47	0,24
	1938-1955	17	2,33	1,67	3,10	0,37	0,16
	1956-1987	32	1,71	1,07	2,85	0,34	0,20
	1988-2005	18	2,11	1,67	3,71	0,49	0,23

Гидрохимический режим рек бассейна Пясины.

Антропогенное загрязнение

Вода большинства водотоков и водоёмов в бассейне Пясины относится к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Речные воды имеют небольшую минерализацию (100–150 мг/л).

Особенности химического состава поверхностных вод связаны с мерзлотными процессами, геохимическим составом подстилающих грунтов и антропогенными источниками загрязняющих веществ (горнодобывающая промышленность, транспортировка руд, угля и нефтепродуктов). Значительный объём стока загрязняющих веществ в бассейне Пясины поступает с предприятий ОАО ГМК «Норильский никель».

По характеру многолетней изменчивости качества вод водные объекты Норило-Пясинской системы могут быть подразделены на три группы. К первой относятся р. Норильская (до створа – 1 км выше впадения р. Рыбной) и другие водные объекты, расположенные выше этого пункта, в том числе озеро Лама. Качество вод этой группы объектов формируется под влиянием природных. Вторая группа, включающая оз. Пясино, р. Норильскую в среднем и нижнем течении и р. Амбарную в верхнем течении, характеризуется умеренным загрязнением вод. Экстремально грязные реки Щучья и Амбарная (в среднем и нижнем течении) – основные приёмники сточных вод горно-металлургической промышленности – образуют третью группу водных объектов.

Н.Л. Фролова, И.В. Федорова, Г.В. Пряхина, Вода России, электронная энциклопедия



Водопользование в бассейне Пясины

- ❖ В бассейне Пясины основная часть водозабора (92%) – это вода, забираемая из поверхностных водных объектов, и в основном на нужды промышленности.
- ❖ Для судоходства используются водные объекты Норило-Пясинской системы. Судоходны реки Пяси́на и Норильская.
- ❖ В реке и её притоках много рыбы. Основу промысла непосредственно на Пясине составляют ряпушка, муксун, сиг, чир, омуль и голец (кумжа).
- ❖ На Пясине находятся посёлки Усть-Тарейя и Кресты.

Н.Л. Фролова, И.В. Федорова, Г.В. Пряхина, Вода России, электронная энциклопедия

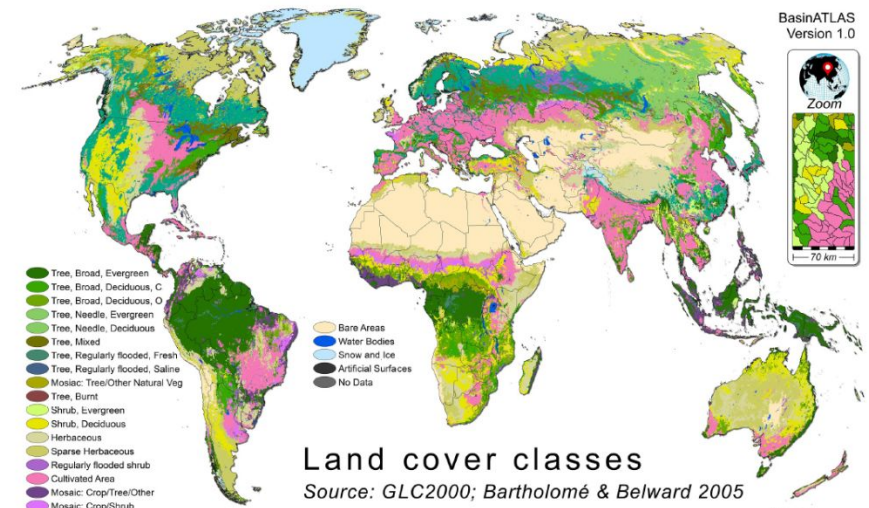


Ландшафтная структура расчетного участка бассейна – основа гидроэкологических расчетов.

Ландшафтная структура (соотношение элементарных геосистем) определяет содержание загрязняющих веществ в потоках с водосбора, коэффициенты фильтрации, стока и смыва с геосистем, удержание и трансформацию вещества водосбором. От нее в значительной степени зависит диффузное загрязнение D.

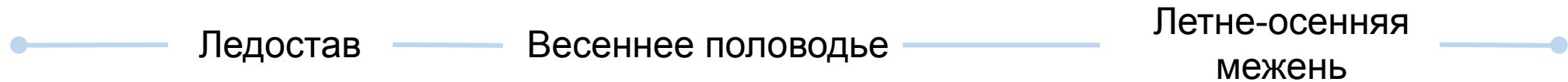
$$D_{ij} = C_{ij} \times K_j \times P_j$$

где D_{ij} – поток загрязняющего вещества i с геосистемы j
 C_{ij} – концентрация загрязняющего вещества i в геосистеме j
 K_j – коэффициент стока с геосистемы j
 P_j – осадки (дождь или снежный покров) в геосистеме j



Шаг 2: Выделение характерных сезонов

Для условий Таймыра



Различные условия поступления и трансформации загрязняющих веществ



- Нет поступления из диффузных источников с поверхностным стоком
- Скорость трансформации снижена



- Активное поступление из диффузных источников с поверхностным стоком
- Скорость трансформации повышена



- Поступление из диффузных источников
- Скорость трансформации средняя

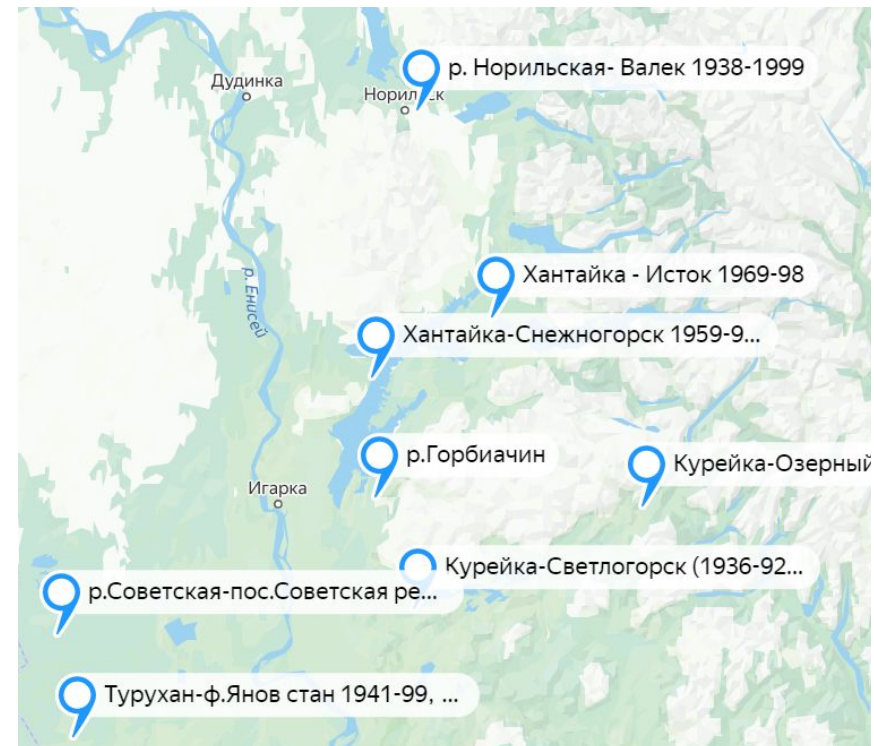
□ Поступление из точечных источников круглый год



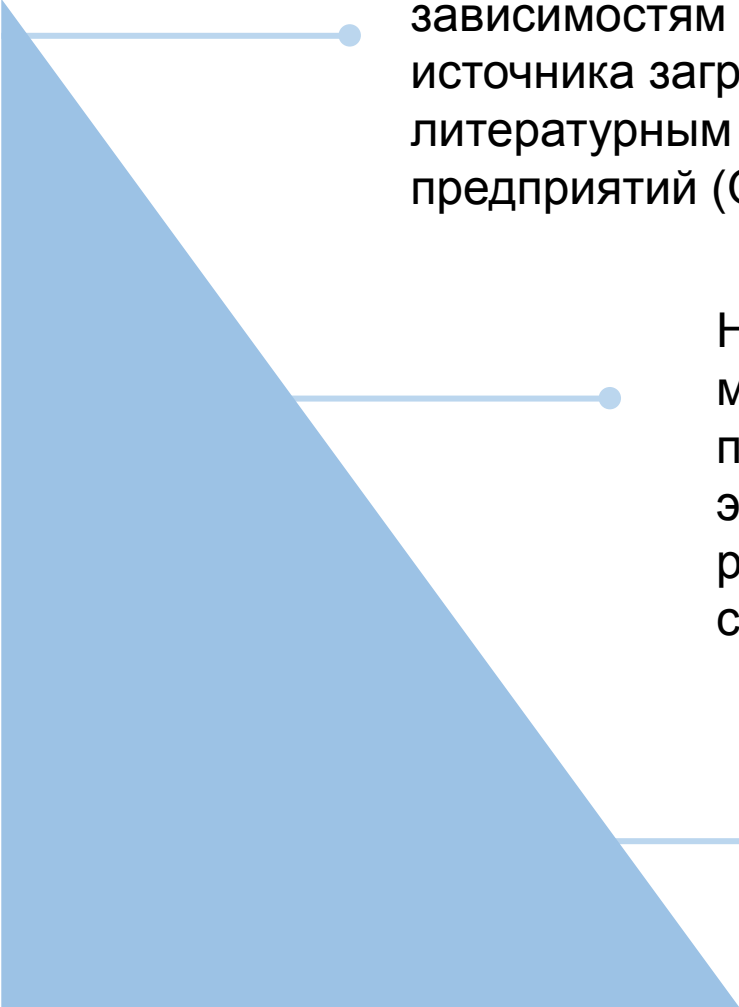
Шаг 2: Выделение характерных сезонов

Для условий Таймыра

● — Ледостав — Весеннее половодье — Летне-осенняя межень ●



Что еще важно?



Расчет диффузного притока от локальных источников проводится (в общем виде) по экспоненциальным зависимостям снижения концентраций по мере удаления от источника загрязнения. Параметры кривых уточняются по литературным данным, наблюдениям и данным от предприятий (ОВОС)

Наличие данных позволяет получить адекватные оценки массопереноса загрязняющих веществ. При их отсутствии параметры расчета могут назначаться пользователем экспертно, с учетом карт снежно-ледовых ресурсов, речного стока, почв и пр. При этом точность расчета снижается.

При расчете массопереноса веществ должен учитываться водозабор или другие способы водопользования при наличии соответствующих данных.

