

## **ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ МАЛЫХ РЕК БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ**

**Беляев Б.М.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*Москва, Россия*

*belbor1@gmail.com*

Половодье представляет собой многофакторное явление. Сложностью является значительная пространственная и временная изменчивость его факторов, в том числе в зависимости от ландшафта. Их часть, определяющую особенности стока, можно разделить на две группы – физико-географические и гидрометеорологические, или постоянные и временные факторы [5, 6]. При рассмотрении весеннего половодья наиболее важную роль играет запас воды в снежном покрове, который тесно связан с количеством зимних осадков, наличием и интенсивностью оттепелей за холодный период. Особенности многолетнего изменения этих характеристик в решающей степени связаны с изменением климатических условий [1, 3, 4].

За исследуемый период наблюдений для средневзвешенного значения запаса воды в снежном покрове (с учетом лесистости) для бассейнов рек Соть, Обнора, Согожа критерий Спирмена не дает наличие статистически достоверного положительного или отрицательного тренда. Для осредненных по близлежащим метеостанциям сумм положительных и отрицательных температур, а также твердых осадков за холодный период (ноябрь – февраль) выявлены статистически достоверные тренды. Они свидетельствуют об общем уменьшении суммы отрицательных температур, твердых осадков за зиму и увеличении суммы положительных температур холодного периода в 1985 – 2014 гг.

**Материалы и методы.** В работе исследованы реки Соть (бассейн Горьковского вдхр.), Обнора (правый приток р. Кострома) и Согожа (бассейн Рыбинского вдхр.) (рис. 1).

Цель работы – разработать методику долгосрочного прогноза максимальных уровней воды для малых рек бассейна Верхней Волги, оценить её эффективность с помощью критериев качества прогнозов. Был собран и обработан ряд наблюдений с 1985 по 2014 гг. по среднесуточным уровням и расходам воды, а также данные по различным метеорологическим характеристикам станций, расположенных вблизи бассейнов исследуемых рек. Всего было использовано три гидрологических поста 1 разряда и двенадцать метеостанций.

Полученная методика прогноза основана на статистическом методе. Максимальный уровень воды в половодье определялся как результат вычисления линейных уравнений множественной регрессии, коэффициенты к которым подбирались в программе «Statistica».

В качестве предикторов выступали гидрологические и метеорологические параметры. Общий набор характеристик формировался таким образом, чтобы отразить осеннее состояние водосбора, особенности снегонакопления и снеготаяния, дружность весны. Всего было использовано 56 параметров. Для уравнений из них отбирались три-четыре переменных, которые давали значение множественного коэффициента корреляции с максимальным уровнем 0,65-0,80.

**Результаты.** Разработанная методика представлена тремя линейными уравнениями множественной регрессии. Каждое было проверено на зависимом материале и независимом (методом выбрасываемой точки). Для оценки качества методики служили две основные характеристики [2]. Первая это отношение  $S/\sigma$ , где  $S$  - средняя квадратичная ошибка проверочных прогнозов;  $\sigma$  - среднее квадратичное отклонение фактического ряда.

Вторая оценка – корреляционное отношение, характеризующее точность связи между предсказываемым явлением и его факторами:

$$\eta = \sqrt{1 - (S/\sigma)^2} \quad , \quad (1)$$

Если  $0,5 \leq S/\sigma \leq 0,8$  говорят, что качество методики удовлетворительное, в случае, когда  $S/\sigma \leq 0,5$  считается, что качество методики хорошее. Корреляционное отношение (1) показывает обеспеченность погрешности, если она меньше или равна 0,87, то качество методики также считается хорошим.

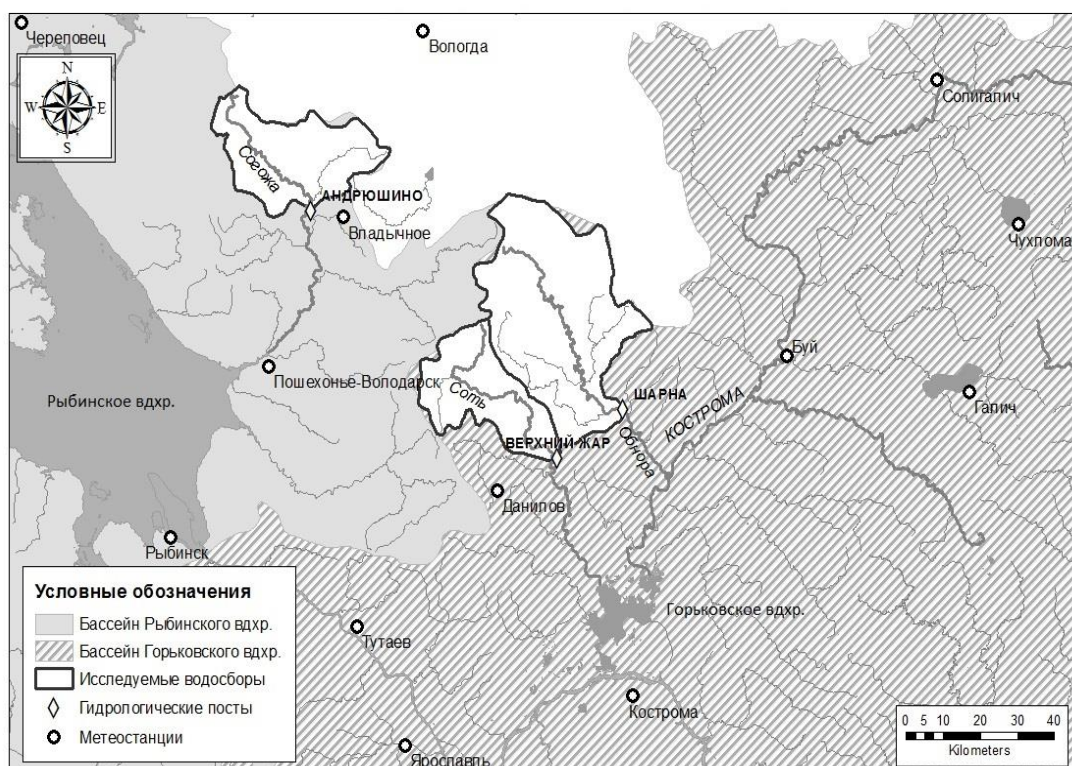


Рис. 1. Обзорная схема района исследования

Уравнение прогноза для р. Соть имеет вид:

$$H_{max} = 199,10 + 1,27S + 2,56Q_{nov} + 0,88X_{raw}, \quad (2)$$

где  $H_{max}$  – прогнозируемый максимальный уровень воды;  $S$  – запас воды в снежном покрове в поле 28 февраля по м/с Данилов;  $Q_{nov}$  – средний расход воды за ноябрь;  $X_{raw}$  – сумма жидких осадков холодного периода (1 ноября – 28 февраля) по данным м/с Буй. Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения составляет 0,73. Допустимая погрешность 53 см. Проверка уравнения на зависимом материале дала следующие результаты:  $S/\sigma=0,71$ ; обеспеченность погрешности 0,71. На независимых данных  $S/\sigma$  составила 0,85, обеспеченность погрешности 0,52.

Для р. Обнора в отличие от рек Соть и Согожа наблюдалось изменение динамики объема годового стока в 1999-2014 гг. по сравнению с 1985-1999 гг. Из-за этой особенности уравнение для Обноры, полученное на ряде данных в 1985-2014 гг. показало себя неэффективным при проверке. Поэтому для создания прогнозного уравнения были выбраны данные 1999-2014 гг.:

$$H_{max} = 127,82 + 1,82S + 5,73Q_{nov} + 0,56X_{snw}, \quad (3)$$

где  $H_{max}$  – прогнозируемый максимальный уровень воды;  $S$  – запас воды в снежном покрове в поле по м/с Буй на 10 марта;  $X_{snw}$  – сумма твердых осадков холодного периода. Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения составляет 0,80. Допустимая погрешность по ряду 1999-2014 гг. равняется 77 см, что на 4 см больше, чем по ряду 1985-2014 гг. На зависимом материале было получено отношение  $S/\sigma$  равное 0,61, обеспеченность погрешности 0,80. На независимом материале результаты проверки следующие:  $S/\sigma=0,89$ ; обеспеченность погрешности составляет 0,46.

Для р. Согожа было получено следующее уравнение:

$$H_{max} = 279,82 + 0,11S_1 + 0,97S_2 + 7,57Q_{nov}, \quad (4)$$

где  $H_{max}$  – максимальный уровень воды в половодье;  $S_1$  – запас воды в снежном покрове по м/с Данилов на 28 февраля;  $S_2$  – запас воды в снежном покрове по м/с Пошехонье на 28 февраля;  $Q_{nov}$  – средний расход за ноябрь. Коэффициент множественной корреляции для этого уравнения составляет 0,66. Проверка методики на зависимом материале дала соотношение  $S/\sigma$  равное 0,78, обеспеченности погрешности 0,63. Допустимая погрешность составила 53 см. На независимых данных критерии показали себя следующим образом:  $S/\sigma$  равно 0,89, обеспеченность погрешности составляет 0,45.

По критериям качества прогноза, представленные уравнения дают удовлетворительный результат. При проверке методом выбрасываемой точки критерии показали более высокие значения. С учетом того, что работа проводилась для малых рек, весенний сток которых в значительной степени зависит от локальных особенностей водосбора, методику можно считать допустимой для применения на практике [5]. Прогноз максимальных уровней

в половодье 2016 г. оправдался для рек Согожа и Обнора (табл.). Для р. Соть разница между фактическим уровнем и нижней границей прогнозного интервала составила 13 см. Превышение допустимых погрешностей, как правило, характерно для лет с экстремально высокими или низкими фактическими максимальными уровнями в половодье.

**Выводы.** Влияния на сток малых рек локальных географо-гидрологических особенностей их бассейнов, обеспечивает то, что множественные гидрометеорологические зависимости для таких рек не дают хорошего ( $S/\sigma < 0,5$ ) прогноза. Опасность для прогноза представляют экстремально высокие или низкие фактические уровни воды. При них прогноз часто может не оправдываться. В подобных случаях возможно подобрать поправочные коэффициенты к прогнозируемому уровню. Сложность состоит в том, чтобы заблаговременно определить будет ли наблюдаться в конкретный год экстремальная ситуация. Опыт работы показывает, что учет в уравнении прогнозируемых предикторов не всегда целесообразен. Применение их нормы дает значительное увеличение погрешности прогноза. В полученных уравнениях прогнозируемые предикторы не применялись в силу того, что были найдены более тесные зависимости на основе известных к дате выпуска прогноза параметров.

**Таблица** Прогноз максимальных уровней на 2016 г.

Характеристики	р. Соть	р. Обнора	р. Согожа
Максимальный уровень воды в половодье по уравнению регрессии, см	445	460	389
Допустимая погрешность, см	53	77	53
Прогнозный интервал, см	392 – 498	383 – 537	336 – 442
Фактический максимальный уровень воды в половодье, см	379	467	397

### *Литература*

1. Алексеевский Н.И., Антонова М.М., Игонина М.И., Фролова Н.Л. Оценка влияний изменения климата на водный режим и сток рек бассейна Верхней Волги// Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 3-12.
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов; Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. 405 с.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: общее резюме; М.: Росгидромет, 2014. 78 с.
4. Ежегодное заявление ВМО о состоянии глобального климата // Изменение климата: ежемесячный информационный бюллетень. 2012. №33. 32 с.
5. Попов Е.Г. Гидрологические прогнозы; Л.: Гидрометеиздат, 1979. 251 с.
6. Руководство по гидрологическим прогнозам. Выпуск 1: Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ; Л.: Гидрометеиздат, 1989. 344 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ЗОНЫ БАМ НА ПРИМЕРЕ РЕК ПОЛИГОНА МОГОТ**

**Нестерова Н.В.<sup>1,2</sup>, Лаптев А.С.<sup>1</sup>, Макарьева О.М.<sup>1,2,3,4</sup>, Лебедева Л.С.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет*

*Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup>*Государственный гидрологический институт*

*Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup>*ООО «НПО «Гидротехпроект»*

*Санкт-Петербург, Россия*

<sup>4</sup>*Институт Мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН*

*Якутск, Россия*

*nnesterova1994@gmail.com*

Гидрологический режим рек в зоне Байкало-Амурской железнодорожной магистрали характеризуется слабой гидрологической изученностью. С целью уточнения методов расчета основных гидрологических характеристик зоны БАМ в 1976-1985 гг. Государственным гидрологическим институтом был организован экспериментальный гидрологический полигон «Могот», на котором проводился комплекс работ, направленный на изучение процессов формирования стока и других элементов водного и теплового баланса [1].

Целями данного исследования являются: 1) определение параметров детерминированной гидрологической модели для типичных ландшафтов зоны БАМ на основе данных полигона «Могот»; 2) моделирование процессов формирования стока для малых водосборов полигона «Могот» (табл. 1, рис. 1); 3) оценка репрезентативности полученного набора параметров для моделирования стока средних рек (табл. 1, рис. 1).

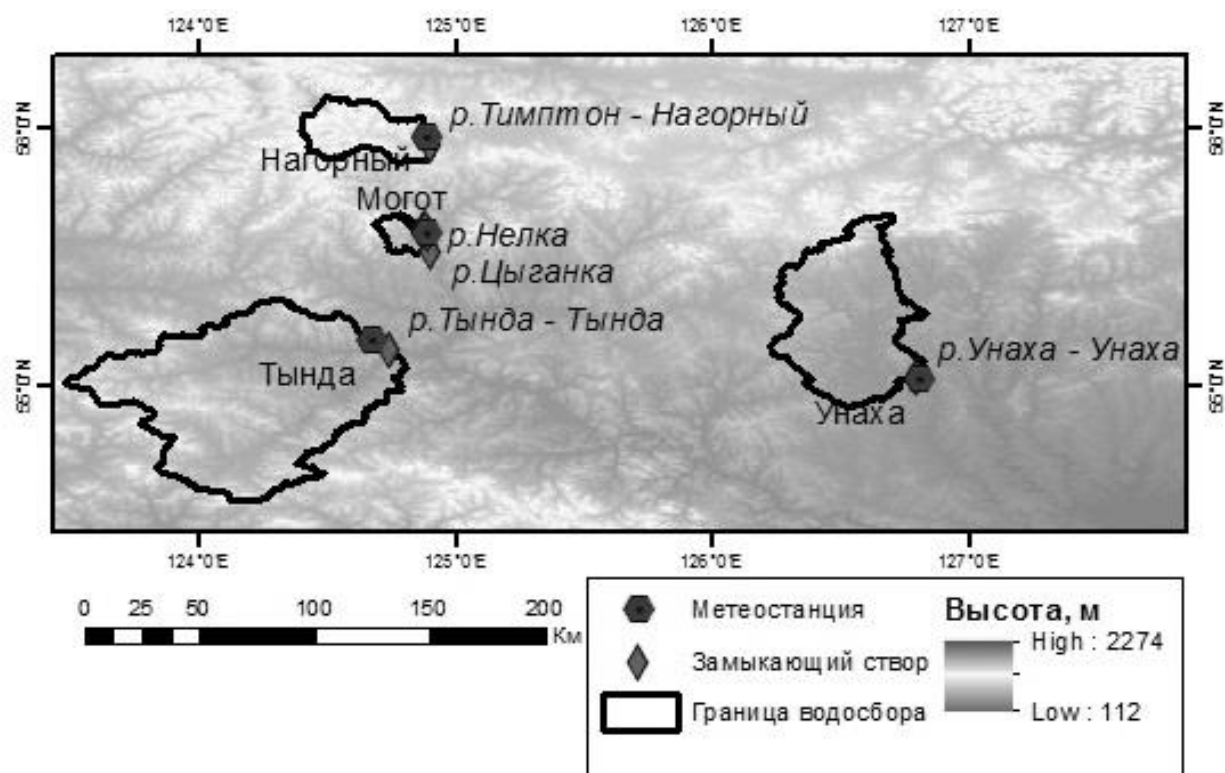
Район исследования относится к водоразделу рр. Амур и Алдан. Рельеф исследуемой территории долинно-сопочный, распространение многолетнемерзлых пород сплошное. Абсолютные высоты исследуемой территории не превышают 1000 м. Основные ландшафты представлены лиственничной тайгой на дерново-таежных почвах.

Климат исследуемой территории резко континентальный, в летний период район подвержен влиянию дальневосточных муссонов. Реки данной территории относятся к рекам преимущественно летнего питания: 90-95% стока приходится на летне-весенний период и только 5-10% на осенне-зимний [1]. В результате экспедиции были собраны данные, описывающие различные характеристики водосборов. Поэтому в качестве исследуемых нами объектов выбраны водосборы полигона «Могот»: водосбор р. Нелки, состоящий из притоков – водосборов рек Захаренок, Филипер и Оникс, и водосбор реки Цыганки. Также в качестве дополнительных объектов выбраны близлежащие водосборы рек Тимптон – Нагорный, Тында – Тында, Унаха – Унаха (табл. 1, рис. 1). Для моделирования процессов формирования стока использовалась детерминированная модель «Гидрограф» [2], разработанная профессором Ю.Б. Виноградовым. Модель «Гидрограф» представляет собой математическую систему с распределенными параметрами, описывающую процессы формирования стока в бассейнах с различным физико-

географическим положением. Модель применима для описания процессов формирования стока на водосборах в зоне многолетней мерзлоты, так как содержит в себе алгоритм расчета динамики тепла и влаги в почве с учетом фазовых переходов [3]. Водосбор в процессе моделирования делится на стокоформирующие комплексы (СФК), каждому из которых присущ свой набор почвенных и растительных параметров [2]. Выделение СФК проводилось на основе ландшафтной карты, составленной в ходе экспедиции. Вся территория полигона «Могот» разбита на пять СФК (табл. 2, рис. 2) [1].

**Таблица 1.** Объекты исследования

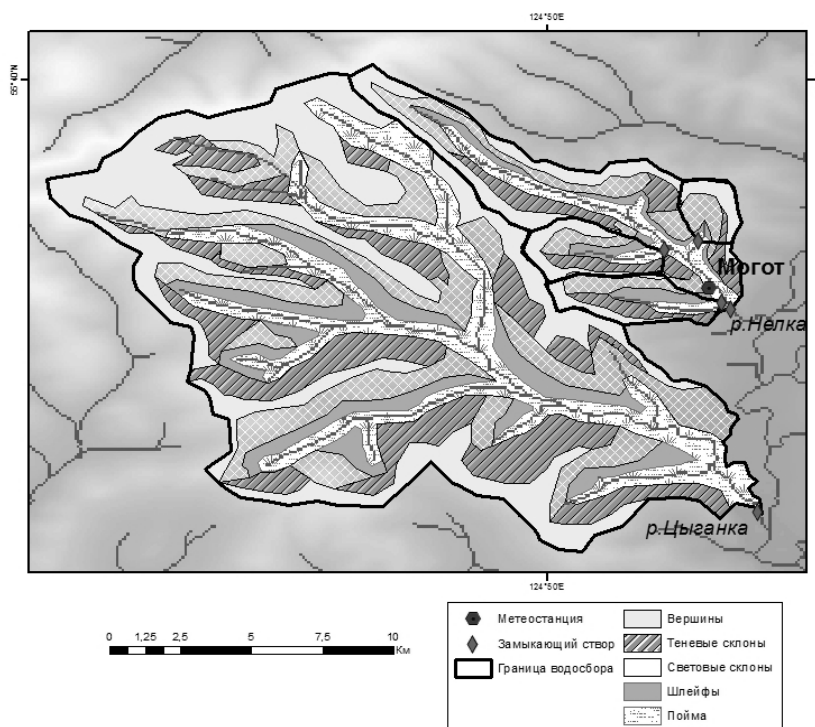
Название объекта – створ	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Средняя высота водосбора, м	Средний сток, мм
р. Нелка	30.8	850	298 (1976-1985)
р. Захаренок	5.8	700	246 (1976-1985)
р. Филипер	4.5	710	245 (1976-1985)
р. Оникс	2	780	355 (1976-1985)
р. Цыганка	150	720	279 (1978-1983)
р. Тимптон - Нагорный	613	1130	516 (1966-1984)
р.Тында - Тында	4060	752	243 (1934-1966)
р.Унаха - Унаха	1950	635	350 (1944-1966)



**Рис. 1.** Объекты исследования

Моделирование стока было произведено за 1976-1985 гг. Результаты моделирования (для примера взят 1982г.) для четырех бассейнов полигона

«Могот» представлены на рис. 3. Также были получены основные переменные состояния почвенных слоев.



**Рис. 2.** Стокоформирующие комплексы (р. Нелка, р. Цыганка)

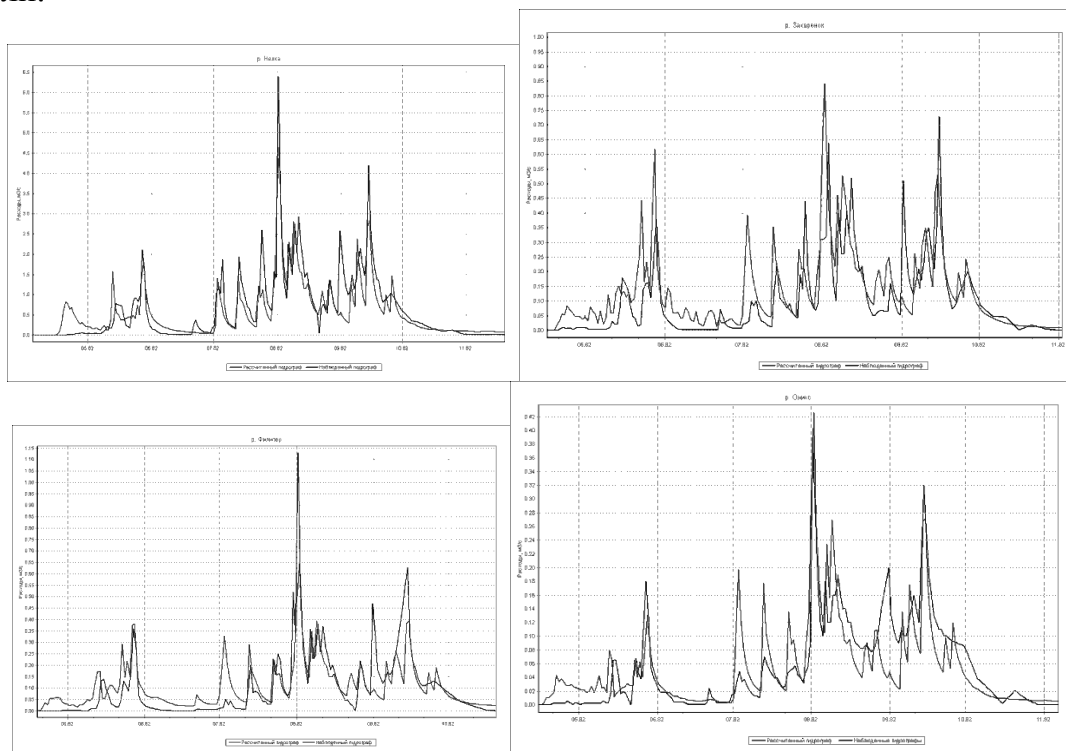
**Таблица 2.** Стокоформирующие комплексы

№ СФК	Название СФК	Местонахождение	Растительность	Почвы	Доля в полигоне «Могот»
1	Вершины	водоразделы	разреженный лиственничник	относительно хорошо дренированные маломощные мерзлотно-таежные	20
2	Теневые склоны	средние и нижние крутые части склонов теневой экспозиции	багульно-брусничниковый лиственничник	дерново-таежные, подбуры	28
3	Световые склоны	средние части склонов световой экспозиции	багульно-брусничниковый лиственничник и вторичные березняки	дерново-таежные длительно-мерзлотные	19
4	Шлейфы	нижние пологие части склонов	разряженный заболоченный лиственничник багульно-голубичный и ерниковый	торфянисто-таежные	16
5	Поймы	днища долин и поймы рек	лиственничник голубичный, сфагновые мхи и местами голубично-осоковое покрытие	аллювиально-болотные	17

В результате анализа данных нами были сделаны следующие предварительные выводы. В условиях недостаточности информации совпадение рассчитанных и наблюдаемых гидрографов можно считать достаточно приемлемым. В то же время имеют место довольно



многочисленные частные и систематические несовпадения, связанные с ограниченными метеорологическими данными, несовершенство данных по стоку и возможная неполная адекватность принимаемых величин по воднофизическим и теплофизическим свойствам почв и другим параметрам модели.



**Рис. 3.** Рассчитанный (светлый) и наблюдаемый (темный) гидрограф стока в бассейне р. Нелка, р. Захаренок, р. Филипер, р. Оникс, 1982 г.

Более подробные результаты моделирования стока как для объектов полигона «Могот», так и более крупных рек будут представлены в докладе.

### *Литература*

1. Василенко Н. Г. Гидрология рек зоны БАМ: экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-История, 2013. 672 с.
2. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии. М.: Академия, 2010. 320 с.
3. Виноградов Ю.Б., Семенова О.М., Виноградова Т.А. Метод расчета динамики тепловой энергии в почвенном профиле в целях гидрологического моделирования, в том числе в зоне многолетней мерзлоты. Ч. 1 // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. №1. С. 11-21.
4. Лебедева Л.С., Семенова О.М., Виноградова Т.А. Расчет глубины сезонно-талого слоя в условиях различных ландшафтов Колымской водно-балансовой станции в задаче гидрологического моделирования // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 2. 2015. С. 35–44.



**МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ р. МОСКВЫ:  
ЭТАП II – СТРУКТУРИРОВАНИЕ НАТУРНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТЕЙ ТОЧЕЧНЫХ И ДИФфуЗНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ<sup>1</sup>**

**Ларина Е.Г., Готовцев А.В.**

*ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук*

*Москва, Россия*

*ekl84@yandex.ru, gotov44@mail.ru*

В докладе излагается постановка второго этапа (структурирование натуральных данных для определения мощностей точечных и диффузных источников загрязнения) задачи оценки качества воды р. Москвы в пределах МКАД с помощью модели «WPI-RQC» (Water Problems Institute - River Quality Control) [1, 2]. Модель WPI-RQC работает в трех режимах:

1. «Наблюдение» – при заданных нагрузках от точечных и диффузных источников ЗВ вычисляются концентрации и потоки ЗВ во всех расчетных створах разветвленной системы русел;

2. «Калибровка» – при известных натуральных концентрациях ЗВ в контрольных створах выясняются «невязки», на основе которых корректируются точечный и диффузный стоки, а также другие параметры;

3. «Управление качеством» – при заданных ограничениях на концентрации ЗВ определяются створы, в которых необходимо построить сооружения для очистки сбрасываемых в эти створы сточных вод. В настоящей работе расчеты производились в режиме «Калибровка».

На территории г. Москвы в пределах МКАД имеется более 140 водотоков, общая протяженность которых составляет около 660 км, из них протяженность открытых русел - 395 км. Полностью открытые русла имеют 45 рек и ручьев, 40 водотоков полностью забраны в коллекторы, остальные имеют частично открытые русла и частично заключены в коллекторы [5]. Имеющиеся на территории города в пределах МКАД водотоки схематизированы в виде ориентированного разветвленного графа (схема р. Москвы и ее притоков, а также подробное описание процесса схематизации представлены в [3]). Из 40 дуг графа к основному руслу относятся 25; 4 дуги схематизируют р. Сходню; 5 дуг относятся к р. Сетунь; 6 дуг схематизируют р. Яузу. Реализованный в модели алгоритм позволяет учитывать перенос ЗВ по речным притокам более высокого порядка (чем включенные в расчетную схему) за счет их условного объединения в агрегированные водотоки (коллекторные участки сточных вод) [1]. Предполагается, что ЗВ от точечных источников поступают не сразу в реку, а в коллекторы сточных вод, которые примыкают ко всем вершинам графа, кроме 41-ой (конечной). Соответственно, в дополнение к 40 дугам, отображающим русловые участки, в модели «работают» еще 40 «невидимых» дуг, представляющих так называемые «агрегированные коллекторы стока ЗВ». Отличие от обычного

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00672).

руслового участка состоит в том, что в агрегированном коллекторе отсутствует диффузный сток ЗВ.

Представление речной сети в виде разветвленного ориентированного графа предполагает, что дуги графа схематизируют русловые участки, по которым перемещаются потоки воды, а вершины графа – места слияния потоков, а также места сосредоточенных притоков воды и/или загрязняющих веществ. К каждой дуге примыкают две вершины, а к каждой вершине может примыкать одна или несколько дуг. В принятой нами схеме нумерации разветвленного ориентированного графа каждая дуга выходит из начальной вершины (ее номер всегда совпадает с номером дуги) и входит в конечную вершину (номер которой всегда больше номера начальной). При такой схеме нумерации ориентация дуги совпадает с направлением течения воды. Вершины, к которым примыкает несколько дуг, называются внутренними вершинами графа. В такую вершину может входить одна или несколько дуг, но выходит всегда одна. Вершины, из которых выходит одна дуга и не входит ни одной, называются начальными вершинами графа. Вершина, в которую входит одна дуга и не выходит ни одной, называется конечной вершиной графа. В речной сети такая вершина схематизирует устье. При такой нумерации конечная вершина всегда одна, начальных вершин может быть несколько (но не менее одной), а внутренних вершин может быть несколько (в частном случае, ни одной). В схеме р. Москвы вершина 41 (Бесединский мост у МКАД) – конечная (устьевая) вершина графа, а вершины 1 (р. Москва ниже Рублево), 4 (р. Сходня у МКАД), 16 (р. Сетунь у МКАД) и 24 (р. Яуза, МКАД) – начальные вершины графа. Все остальные – внутренние вершины графа.

Для определения мощностей точечных источников ЗВ (режим «Калибровка») требуется задать концентрации ЗВ в начальных створах дуг, выходящих из исследуемых (калибруемых) вершин. Если помимо точечных источников, есть необходимость определить еще и мощность диффузных источников, то в исходной информации модели надо добавить значения концентраций ЗВ в конечных створах исследуемых (калибруемых) дуг. Если натурные концентрации ЗВ измерены в створах, примыкающих к начальным вершинам графа, то здесь полная определенность – эти данные заносятся в массив «Исходящие дуги» – по этим концентрациям будут рассчитаны мощности точечных источников ЗВ в соответствующих вершинах. В случае, когда контрольный створ, примыкает к внутренней вершине, то необходимо уточнить – находится этот створ выше или ниже этой вершины. Если выше, то значение концентрации ЗВ помещают в массив «Входящие дуги» – по этой концентрации будет рассчитана мощность диффузного источника ЗВ (модуль диффузного стока) на входящей дуге. Если ниже – данные заносятся в массив «Исходящие дуги» – по этим концентрациям будут рассчитаны мощность точечного источника ЗВ в соответствующей вершине. Если в массиве «Исходящие дуги» и/или «Входящие дуги» встречаются нулевые или отрицательные элементы, то калибровка в соответствующих створах не производится, т.е. вместо мощности источников ЗВ концентрация ЗВ вычисляется в режиме «Наблюдение». Одна из задач моделирования качества воды в р. Москва на данном этапе заключалась в анализе натуральных данных,

полученных службой ГПБУ «Мосэкомониторинг» [4, 5], и дополнении этих данных, используя метод экспертной оценки. В таблице 1 представлены концентрации нефтепродуктов по данным Мосэкомониторинга (столбец 3), а также исходные данные для начального и конечного створа каждой дуги, подготовленные методом экспертной оценки (столбцы 4 и 5).

**Таблица 1.** Концентрации нефтепродуктов в створах расчетной схемы модели

№ Вер- шины	Название вершины	Натурные концентрации (апрель 2015)	Началь- ный створ	Конеч- ный створ
1	2	3	4	5
1	Ниже Рублево	0.024	0.024	0.024
2	Спасский мост	0.021	0.021	0.021
3	Керосиновый р., устье	0.24	0.021	0.24
4	р. Сходня, выше р. Безымянного-Куркино	0.089	0.089	0.089
5	р. Сходня, ниже р. Братовки-Митино	0.11	0.089	0.11
6	Мост Походного пр.	0.21	0.21	0.21
7	Мост у Строительного пр.	0.078	0.078	0.078
8	р. Сходня, устье	0.078	0.24	0.078
9	Ниже р. Сходни	0.096	0.096	0.096
10	Соболевский ручей	0.13	0.096	0.13
11	р. Таракановка, устье	0.21	0.13	0.21
12	р. Филька, устье	0.1	0.21	0.1
13	Ваганьковский Студенец	0.15	0.1	0.15
14	р. Пресня, устье	0.16	0.15	0.16
15	Бережковский мост (выше Сетуни)	0.78	0.78	0.78
16	Мост Новопеределкино	0.26	0.26	0.26
17	р. Сетунь, МКАД	0.3	0.26	0.3
18	Багрицкий Мост	0.3	0.3	0.3
19	Аминьевский мост	0.34	0.3	0.34
20	Минский мост	0.81	0.81	0.81
21	р. Сетунь, устье	0.945	0.945	0.945
22	Бабьегородская плотина	0.112	0.945	0.112
23	Б. Москворецкий мост (устье р. Неглинки)	0.15	0.15	0.15
24	р. Яуза, МКАД	0.06	0.06	0.06
25	р. Яуза, ул. Широкая	0.086	0.086	0.086
26	р. Яуза, р. Чермянка	0.61	0.086	0.61
27	р. Яуза, р. Лихоборка	0.45	0.61	0.45
28	р. Яуза, Ярославский мост	1.2	1.2	1.2
29	р. Яуза, Электрозаводский мост	1.2	1.2	1.2
30	р. Яуза, устье	0.525	0.15	0.525
31	Б. Краснохолмский мост (ниже р. Яузы)	0.308	0.308	0.308
32	р. Чура, устье	0.64	0.308	0.64
33	р. Котловка, устье	0.24	0.64	0.24
34	АМО ЗИЛ	0.15	0.15	0.15
35	Плотина Перерва	0.17	0.15	0.17
36	р. Нищенка, устье	0.15	0.17	0.15
37	Выше ОКСА	0.12	0.12	0.12
38	Ниже ОКСА	0.105	0.12	0.105
39	р. Городня, устье	0.14	0.105	0.14
40	Выше Бесединского моста	0.11	0.11	0.11
41	Бесединский мост (МКАД)	0.11	0.11	0.11

На следующем этапе моделирования качества воды в Москве-реке планируется выполнить расчет мощности точечных и диффузных источников загрязнения с помощью модели WPI-RQC, используя натурные данные ГПБУ «Мосэкомониторинг» по концентрациям нефтепродуктов в створах наблюдения г. Москвы.

### *Литература*

1. Готовцев А.В. Модель WPI-RQC для оценки качества вод и обоснования водоохранных мероприятий // Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна, В.Г. Пряжинской. М.: РАСХН, 2013. С. 176-187.
2. Готовцев А.В., Данилов-Данильян В.И., Ларина Е.Г. Оценка самоочищающей способности русловой и коллекторной сети реки Москвы в пределах МКАД// Вода: химия и экология, 2016, № 10. С. 16-24.
3. Ларина Е.Г., Готовцев А.В. Моделирование качества воды Москва-реки: этап I – схематизация речной сети. Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сборник трудов VII международной научной конференции молодых ученых и талантливых студентов ФГБУН ИВП РАН; 11-13 декабря 2013 г./ Отв. ред. Н.Н. Митина. М: ИВП РАН, 2013. С. 104-110.
4. Наблюдения за качеством поверхностных вод объектов на территории города Москвы и присоединенных территорий ТиНАО. Электронный ресурс: <http://www.mosecom.ru/water/system/>.
5. Общие сведения о водных объектах в черте города Москвы и присоединенных территорий. Электронный ресурс: <http://www.mosecom.ru/water/>.

## **СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ «BASINS» И «WPI-RQC» НА УРОВНЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ОПИСАНИЙ И НА ПРИМЕРЕ**

### **МОДЕЛИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКЕ ЧАРЫН<sup>2</sup>**

**Джамалов Д.К.<sup>1</sup>, Нурсейтов Д.Б.<sup>1</sup>, Готовцев А.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Национальная научная лаборатория коллективного пользования информационных и космических технологий, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева  
г. Алматы, Республика Казахстан*

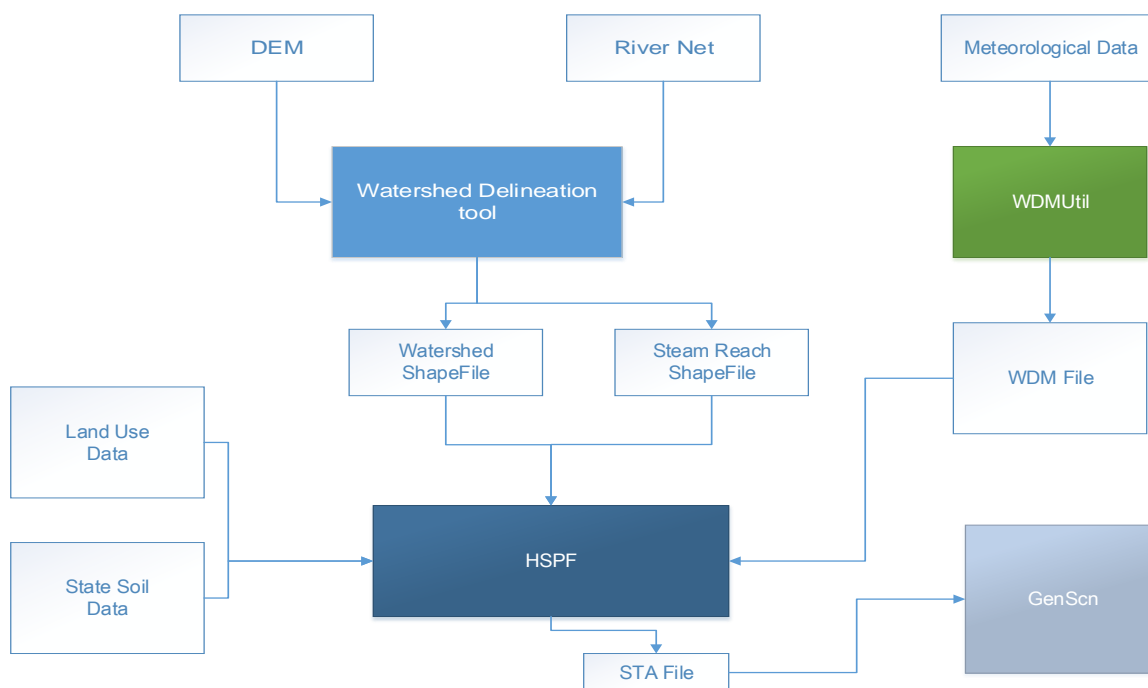
<sup>2</sup>*ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук  
Москва, Россия*

**1. Сравнение BASINS и WPI-RQC на уровне концептуальных описаний.** Программный комплекс BASINS (Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources) разработан Агентством по охране

---

<sup>2</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (проекты №757.МОН.ГФ.15.ИИТ.4, №1746/ГФ4).

окружающей среды (Environmental Protection Agency (EPA) для оценки максимальных суммарных суточных нагрузок (Total Maximum Daily Loads (TMDLs)) на водные объекты. Входными параметрами для программного комплекса BASINS являются: Цифровая модель рельефа (DEM); Речная сеть (River Net); Данные землепользования (Land Use data); Почвенные характеристики (State Soil data); Метеорологические данные (Meteorological Data). На рис. 1 представлена Блок-Схема алгоритма, реализованного в программном комплексе BASINS. Пояснения к отдельным блокам Схемы: HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran) – основная программа (ядро) модели BASINS 4.1, используемая для построения границ водораздела; WDM (Watershed Data Management) – программный блок, обеспечивающий хранение и извлечению данных, необходимых для работы с гидрологическими моделями, а также с моделями, включающие анализ качество воды; WDT (Watershed Delineation Tool) – инструмент для определения границ водораздела.



**Рис. 1.** Блок-Схема программного комплекса BASINS

Модель **WPI-RQC** (Water Problems Institute - River Quality Control), разработанная в Институте водных проблем РАН, предназначена для оценки качества вод, определения мощностей точечных и диффузных источников загрязняющих веществ (ЗВ), а также для выбора водоохранных мероприятий в бассейне [1, 2]. Входными параметрами для модели WPI-RQC являются:

- Речная сеть, схематизированная в виде разветвленного графа. Дуги графа схематизируют речные участки (с перемещающимся по ним потоками воды и ЗВ). Задавая отрицательные расходы воды на дугах и соответствующих вершинах, можно моделировать также каналы, забирающие воду из речной

сети (например, для нужд орошения или водоснабжения отдаленных пунктов);

- Гидрологическая и гидрохимическая информация (расходы воды и скорости переноса ЗВ по речным участкам, длины речных участков);
- Данные о мощностях точечных и диффузных источников ЗВ;
- Данные о натуральных концентрациях ЗВ (если требуется решить задачу определения местоположения неучтенных источников ЗВ и их мощностей);
- Нормативные данные по технологии и экономике очистных сооружений.

На рис. 2 приведена Блок-Схема модели WPI-RQC.

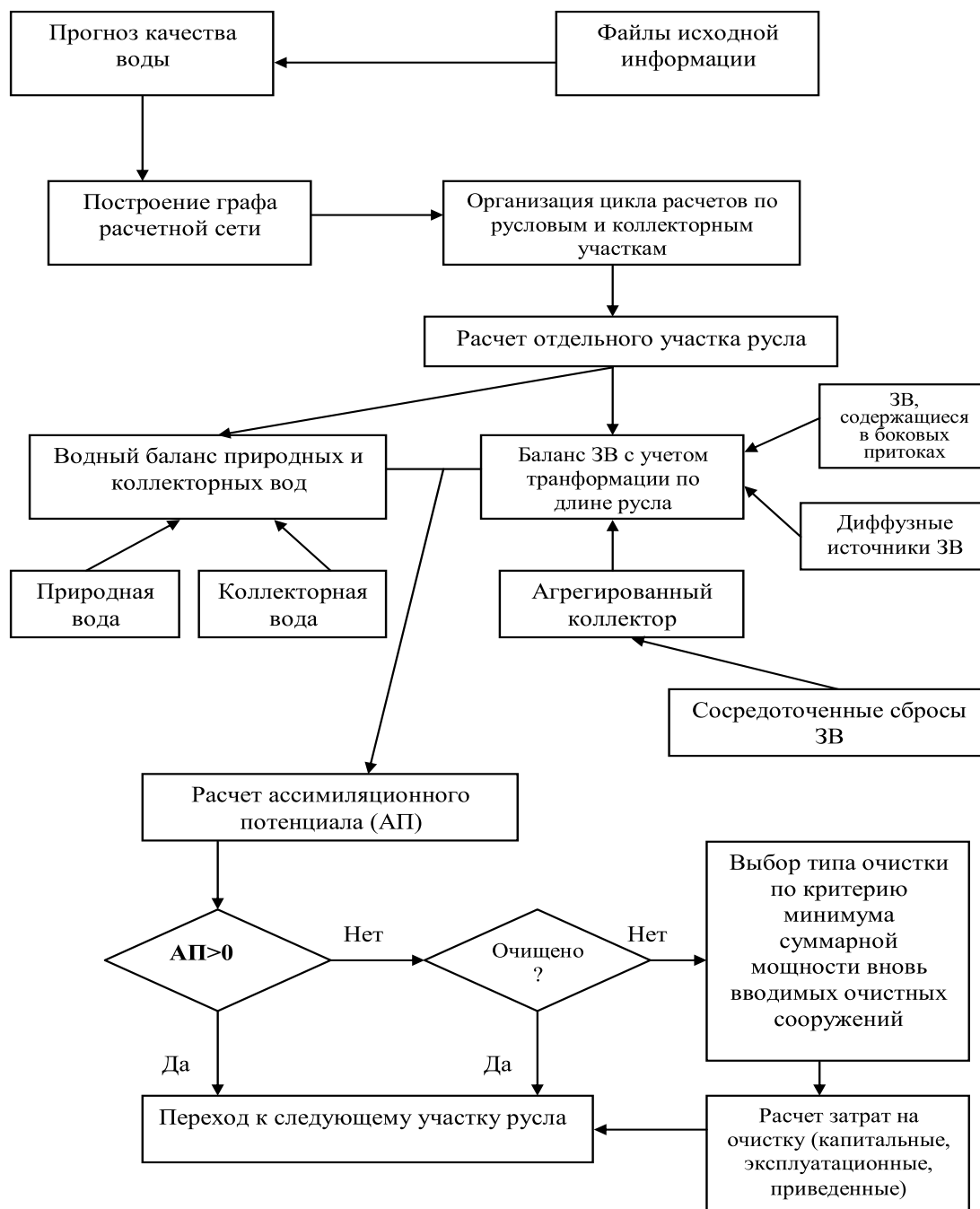


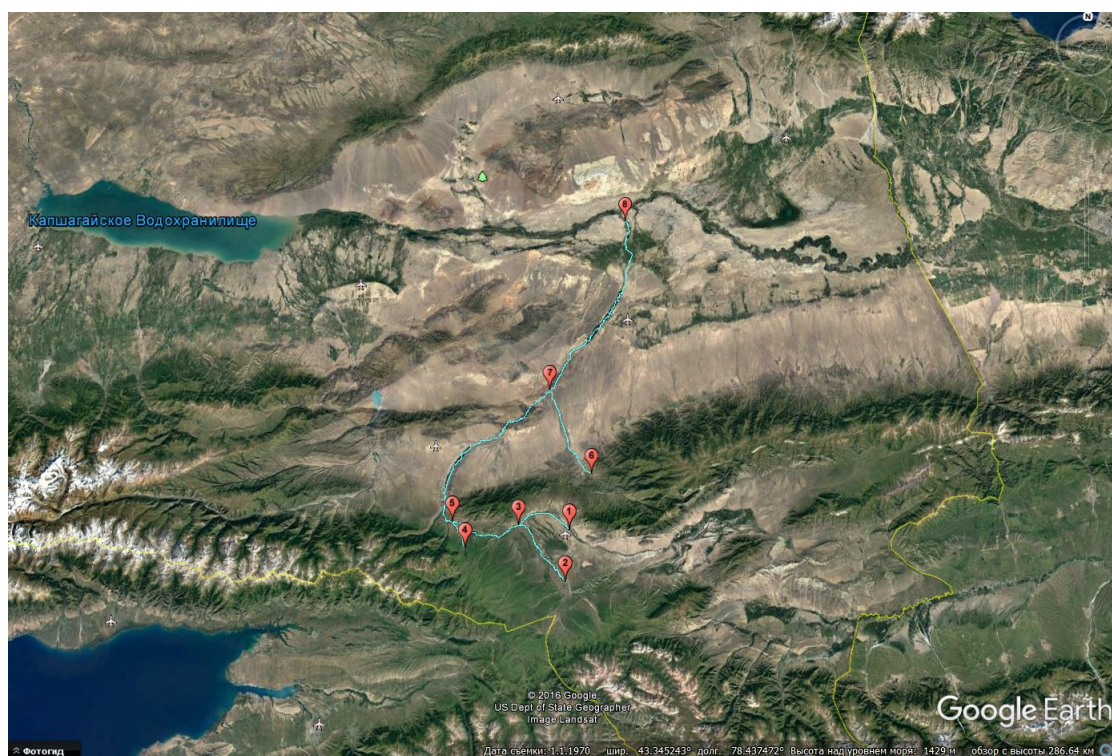
Рис. 2. Фрагмент « Управление качеством» Блок-схемы модели WPI-RQC



Пункты 3), 4), определяющие различия, указывают на преимущества (дополнительные возможности) программного комплекса BASINS, а пункты 5), 6) указывают на преимущества WPI-RQC, позволяющие решать дополнительно два класса задач. Различия программных комплексов позволяют взаимно дополнять результаты по бассейну и получать «голографический портрет изучаемого объекта».

## **2. Сравнение результатов моделирования качества воды в р. Чарын с помощью программных комплексов BASINS и WPI-RQC**

Р. Чарын - левый приток р. Или, являющейся основной водной артерией бассейна оз. Балхаш [3]. На рис. 3 представлен снимок из приложения «Google Earth», на котором виден весь бассейн р. Чарын (от истока до впадения в р. Или), а также участок р. Или от границы с Китаем до Капчагайского водохранилища [4].

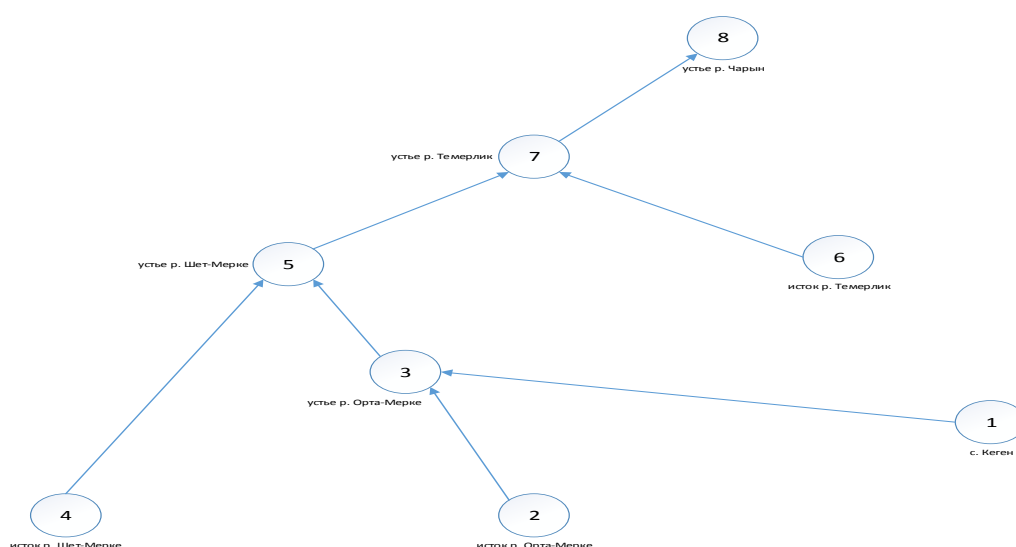


**Рис. 3.** Космический снимок бассейна реки Чарын

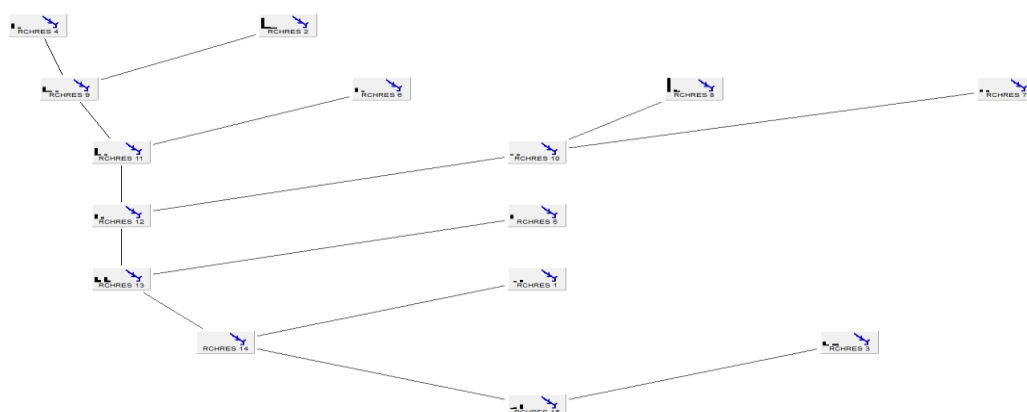
Для адаптации модели WPI-RQC к бассейну р. Чарын была выполнена схематизация русловых участков бассейна от Казахстанско-Китайской границы до устья (р. Или) в виде разветвленного графа, содержащего 8 вершин и 7 дуг. Используемая в расчетах по модели WPI-RQC Схема бассейна р. Чарын приведена на рис. 4. В дополнение к 7 дугам, отображающим русловые участки, в модели «работают» ещё 7 «невидимых» дуг, соответствующих так называемым «агрегированным коллекторам стока ЗВ». Реализованный в модели WPI-RQC алгоритм позволяет учитывать перенос ЗВ по речным притокам более высокого порядка (чем включенные в расчетную схему) за счет их условного объединения в агрегированные водотоки (агрегированные коллекторные участки вод). В результате расчетов



по модели HSPF, входящей в программный комплекс BASINS, водотоки бассейна р. Чарын были схематизированы в виде разветвленного графа с 14 дугами (рис. 5). Интересно отметить и объяснить различия в количестве дуг графов на рис. 4 и 5, изображающих водотоки одного и того же бассейна реки. Дело в том, что Схему, представленную на рис. 4 (содержащую 7 дуг) подготовил опытный гидролог Э.А. Турсунов по опубликованным гидрологическим данным, а схему, представленную на рис. 5 (14 дуг) «нарисовал» компьютер, используя данные цифровой модели местности. Программный комплекс BASINS «добавил» к гидрологической Схеме еще 7 водотоков, которые ранее не рассматривались гидрологами из-за малых (практически нулевых) расходов воды. Тем не менее, в определенные многоводные периоды эти водотоки могут представлять интерес для изучения.



**Рис. 4.** Схема речной сети р. Чарын, использованная в модели WPI-RQC



**Рис. 5.** Схема водотоков бассейна р. Чарын, полученная по модели HSPF, входящей в программный комплекс BASINS

Ограниченный формат данной публикации не позволяет включить другие результаты расчетов, поэтому о них будет сказано в устном докладе.

### *Литература*

1. Готовцев А.В. Модель WPI-RQC для оценки качества вод и обоснования водоохраных мероприятий. В кн.: Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России. Под ред. В.И. Данилова-Данильяна, В.Г. Пряжинской. М.: РАСХН, 2013. С. 176-187.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016610993 WPI-RQC (Water Problems Institute – River Quality Control). Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Российской академии наук (RU). Автор: Готовцев А.В. (RU). Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25 января 2016г.
3. Современное экологическое состояние бассейна оз. Балхаш. Алматы, изд-во Каганат, 2002. 388 с.
4. Интернет-источник спутниковых снимков, карт местности и рельефа: <https://www.google.com/earth/>.

## **ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СТОКА РЕК ЗАПАДНОГО САЯНА**

**Соловьев В.А., Пряхина Г.В., Журавлев С.А.**

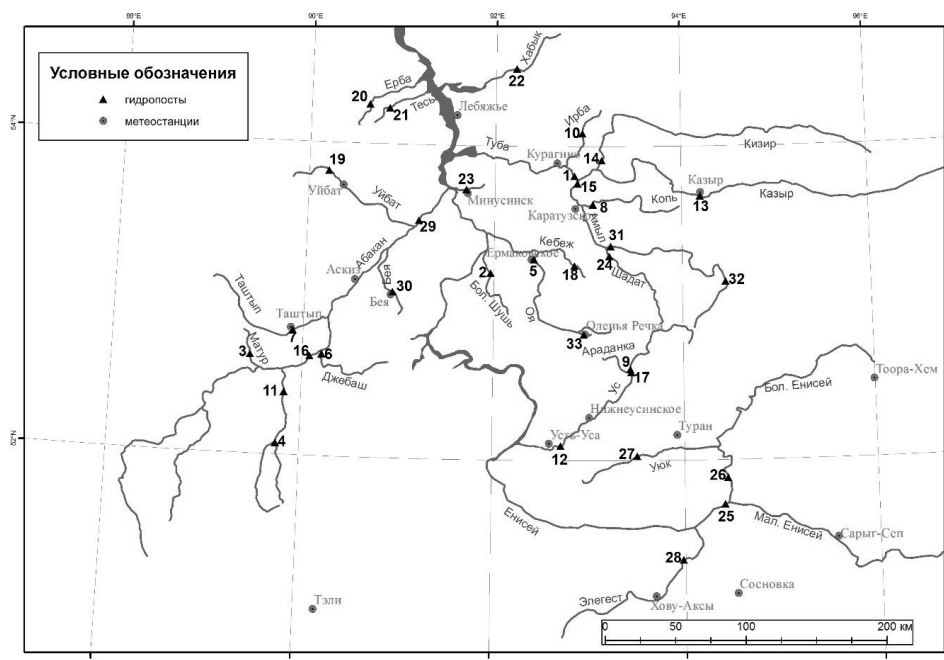
*Санкт-Петербургский государственный университет, Россия  
hydrovitosik@mail.ru*

В работе выполнены оценки современных изменений годового стока, а также минимальных и максимальных суточных расходов воды рек Западного Саяна за период 1959-2012 гг. по 21 гидрологическому посту, расположенному на малых, средних и крупных реках с площадями водосборов в диапазоне 4 - 115000 км<sup>2</sup>, бассейны которых частично или полностью располагаются в условиях среднегорья (рис. 1). В пределах выбранных бассейнов отсутствуют крупные озера и водохранилища, искажающие естественный водный режим. Безвозвратное потребление водных ресурсов принималось пренебрежимо малым.

При отсутствии данных ряды стока восстанавливались методом линейной регрессии по рекам-аналогам. Для большей части исследуемого района при восстановлении устанавливалось пороговое значение коэффициента парной корреляции  $R_{кр} = 0,7$ . Восстановленные данные составляют 2% от общего объема информационной базы. Основная доля восстановленных данных (42%) относится к началу 1960-х гг., 33% - к началу 1980-х гг., когда часть постов была закрыта.

Для оценки однородности рядов гидрологических наблюдений были использованы критерии Смирнова-Грабса и Диксонна, которые согласно рекомендациям применяются для оценки статистической значимости однородности резко отклоняющихся экстремальных значений в эмпирическом

распределении при уровне значимости 5%. Значимость трендов среднегодового, минимального зимнего и максимального стока оценивалась с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла. Оценка линейного тренда проводилась методом Сена [2].



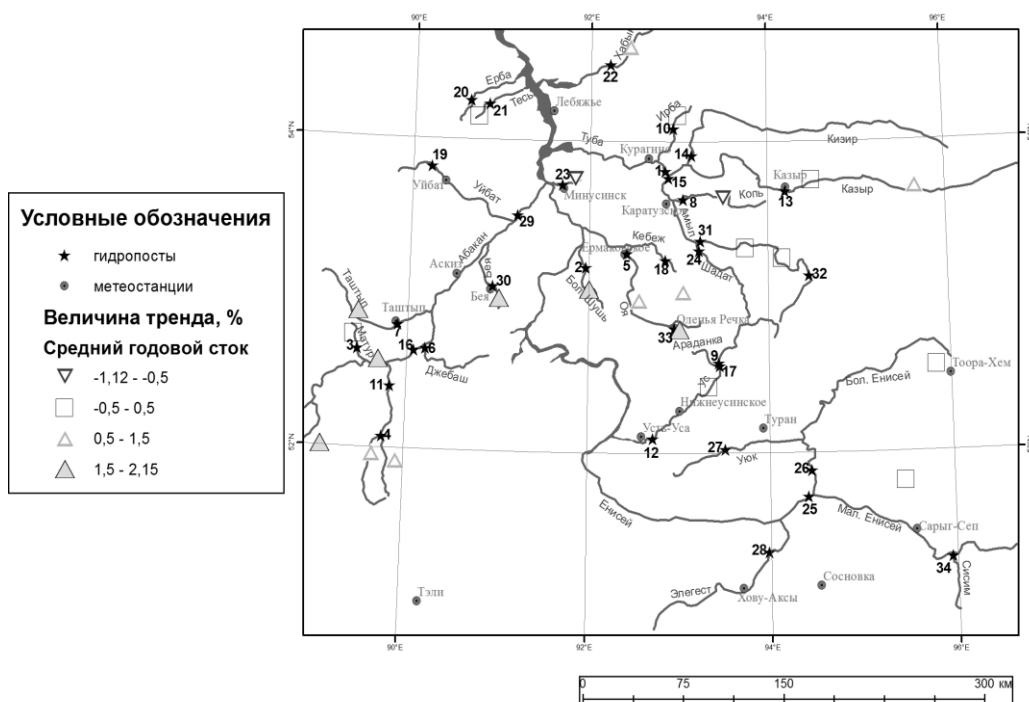
**Рис. 1.** Карта-схема гидропостов и метеостанций исследуемого района:

- 1 - р. Туба - с. Бугуртак, 2 - р. Большая Шушь - с. Иджа, 3 - р. Матур - пос. Матур, 4 - р. Большой Он - пос. Большой Он, 5 - р. Оя - с. Ермаковское, 7 - р. Таштып - с. Таштып, 8 - р. Копь - д. Черепановка, 10 - р. Ирба - д. Большая Ирба, 11 - р. Она - пос. Малый Анзас, 12 - р. Ус - д. Усть Золотая, 13 - р. Казыр - пос. Казыр, 15 - р. Амыл - с. Качулька, 16 - р. Абакан - г. Абаза, 21 - р. Тесь - с. Боград, 22 - р. Хабык - с. Никольское, 23 - р. Минусинка - г. Минусинск, 25 - р. Енисей - г. Кызыл, 26 - р. Большой Енисей - с. Кара Хак, 29 - р. Абакан - пос. Райков, 30 - р. Бея - с. Бея, 31 - р. Амыл - с. Верхний Кужебар, 33 - р. Оленья речка - м. ст. Оленья речка

Расчет величины и значимости тренда рядов средних годовых расходов воды показал, что значимый положительный тренд для уровня значимости  $\alpha=0,05$  характерен для 6 гидрологических постов (29% от общего количества) (см. рис. 2). В основном это створы на р. Абакан и его притоках (р. Абакан - г. Абаза, р. Абакан - п. Райков, р. Таштып - с. Таштып и р. Бея - с. Бея) для которых отмечено увеличение годового стока в среднем на 1,8% / 5 лет, а также р. Большая Шушь - с. Иджа – 2,15% / 5 лет, протекающая в Минусинской котловине. В остальных случаях можно говорить о незначительной положительной (в 47% случаях) или отрицательной (в 24% случаев) тенденции изменения годового стока за рассматриваемый период.

Для 76% исследуемых створов (см. рис. 3) тренд к увеличению минимальных зимних расходов воды оказался значимым. В остальных случаях отмечалась положительная тенденция и только для малой р. Тесь, являющейся левым притоком Красноярского водохранилища, имеет место

незначительная отрицательная тенденция изменения минимального зимнего расхода воды. Наиболее интенсивное увеличение минимальных зимних расходов воды характерно для бассейна р. Абакан (р. Таштып – 4,8 %/5, р. Бея – 5,3% / 5, р. Абакан (пос. Райков) - 3,2% / 5), а также малых р. Хабык (4,9% / 5), Ирба (4,5% / 5) и р. Енисей (г. Кызыл) - 4,0% / 5. Связей между размерами водосборов и величинами трендов не выявлено.

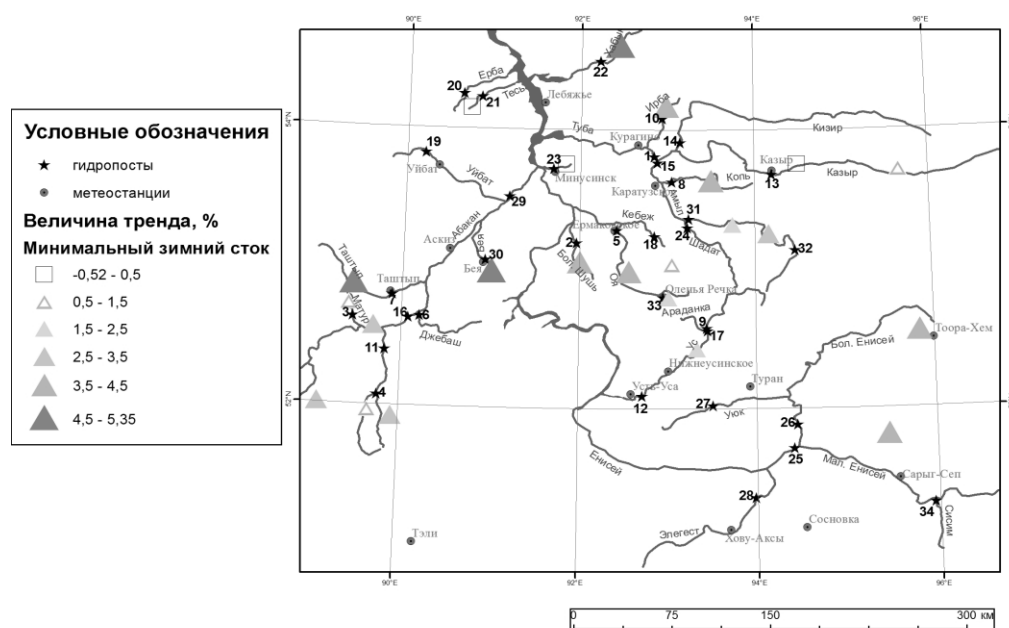


**Рис. 2.** Карта-схема величины тренда средних годовых расходов воды (величины трендов отнесены к центрам тяжести водосборов)

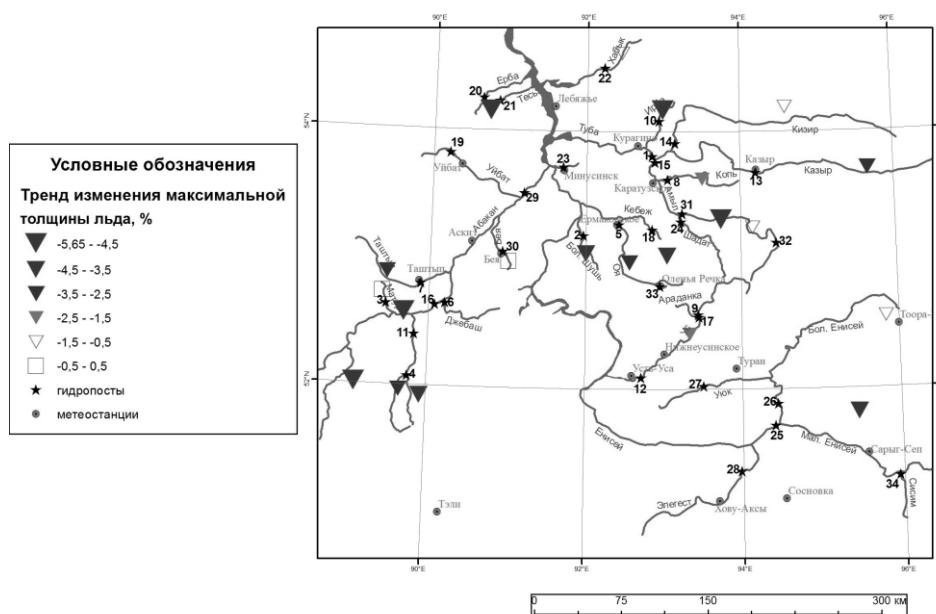
Значительное увеличение зимнего стока в последние десятилетия отмечено практически повсеместно на территории России. Причиной этого может служить рост зимних температур воздуха, влияющих на развитие процессов ледообразования. Анализ величины и значимости трендов максимальной толщины льда показал, что за исследуемый период отрицательный тренд оказался статистически значимым в 71% случаев. В остальных случаях имела место отрицательная тенденция (рис. 4).

При уменьшении толщины льда в реках, снижаются «потери» на ледообразование и возрастает пропускная способность русел, что приводит к увеличению зимнего стока, в отдельных случаях на 20-30% от среднего многолетнего, что характерно в северных и сибирских регионах [1]. Анализ изменения максимальных половодных расходов воды на исследуемых реках выявил статистически значимый тренд в 1-х случаях (5%) для створа Енисей – г. Кызыл (рис. 5). В большинстве случаев можно говорить лишь о тенденции к уменьшению максимальных расходов воды.

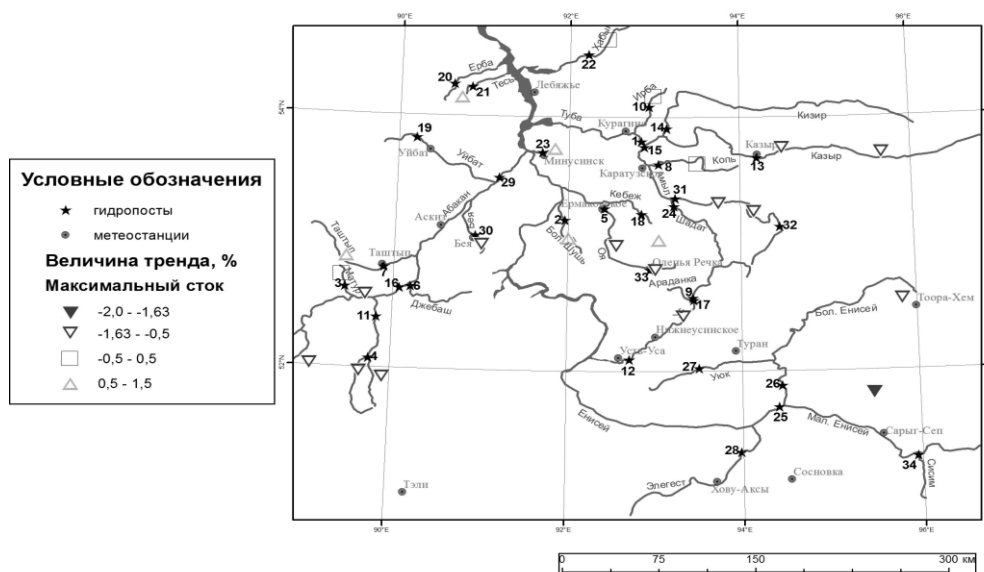
Стоит отметить, что в 27% случаев фиксировалась незначительное повышение максимальных половодных расходов в створах, преимущественно на реках Минусинской котловины.



**Рис. 3.** Карта-схема величины тренда минимальных зимних расходов воды (величины трендов отнесены к центрам тяжести водосборов)



**Рис. 4.** Карта-схема величины тренда максимальной толщины льда (величины трендов отнесены к центрам тяжести водосборов)



**Рис. 5.** Карта-схема величины тренда максимальных расходов воды (величины трендов отнесены к центрам тяжести водосборов)

### *Литература*

1. Боровский Б.В., Марков М.Л. Является ли меженный расход рек мерой питания подземных вод или общего подземного стока? Разведка и охрана недр. 2014. С. 10-16.
2. Руководство по гидрологической практике. Т. I. Глава 5. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. ВМО, 2012.
3. Соловьев В.А., Пряхина Г.В., Журавлев С.А. Анализ временных изменений водности рек Западного Саяна. Тезисы межд. конф. памяти выдающегося русского гидролога Ю.Б. Виноградова «Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии». СПбГУ. Россия. 2015. С. 82-84.

## **ПРОНИКАЮЩАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ КОНВЕКЦИЯ В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПОДЛЁДНОГО ПРОГРЕВА МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА<sup>3</sup>**

**Волков С.Ю., Богданов С.Р., Здореннов Р.Э.**

*Институт водных проблем Севера*

*г. Петрозаводск, Россия*

*taranarmo@gmail.com*

Проникающая турбулентная конвекция (ПТК) – весьма распространённое явление, хорошо известное океанологам, лимнологам, астрофизикам. В первых двух случаях его возникновение связано с ночным выхолаживанием водной поверхности океана и весенним прогревом покрытых льдом озёр. Соответственно, накачка энергии определяется поверхностными или распределёнными по объёму потоками тепла. Такая ситуация возникает, в

<sup>3</sup> Работа поддержана грантом РФФИ №16-05-00436 А.

частности, в покрытых льдом озёрах, когда поздней весной происходит проникновение солнечной радиации в толщу воды.

Явление представляет значительный практический интерес, поскольку, например, во многом определяет динамику биоты. С другой стороны, с его изучением связан целый ряд фундаментальных проблем гидродинамики и турбулентного теплопереноса. За последние десятилетия опубликовано значительное число работ, посвящённых динамике температурного поля, скорости заглубления перемешанного слоя, структуре поля скорости [116, 116 - 116]. Однако до настоящего времени остаётся открытым ряд вопросов, связанных с механизмом массо- и теплопереноса, структурой и динамикой конвективных движений, направлением спектральных потоков энергии. Во многом это связано с недостатком достаточно точных прямых натурных измерений основных физических полей.

В данной работе представлены некоторые результаты эксперимента по определению поля скорости в подлёдном слое мелководного озера Вендюрское в период весенней конвекции. Оз. Вендюрское находится в центральной части Республики Карелия. Озеро ледникового происхождения, довольно типичное мелководное бореальное озеро; средняя глубина – 5,3 м, максимальная – около 13 м. Скорости течения подо льдом измерялись при помощи акустических доплеровских измерителей скорости Aquadopp HR-profiler. Данный прибор позволяет фиксировать течения со скоростями порядка 1 мм/с, дискретность измерения составляет 1 мин. Расстояние  $l$  между датчиками по вертикали составляло 5 см. Такой выбор был обусловлен предварительной оценкой диссипативного Колмогоровского масштаба  $r_d$ . А именно, по известным из литературы [116, 116] данным скорость  $\varepsilon$  диссипации энергии составляет по порядку  $\sim 10^{-8}$  Вт/кг, при этом для диссипативного масштаба получаем оценку  $r_d = (\eta^3/\varepsilon)^{1/4}$ .

Таким образом, величина  $l$  более чем на порядок превышала  $r_d$ . При такой разнесённости между датчиками вполне можно было рассчитывать на попадание в область инерционного интервала при рассмотрении двухточечных корреляционных функций. В связи с тем, что горизонтальные координаты всех датчиков были одинаковы, для анализа были доступны только 2 вида двухточечных функций:

$$\begin{aligned} D_{LL}(z) &= \langle (w(z+z_0)-w(z_0))^2 \rangle, \\ D_{NN}(z) &= \langle (u(z+z_0)-u(z_0))^2 \rangle, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $D_{LL}$ ,  $D_{NN}$  – продольная и поперечная структурные функции;

$u$ ,  $w$  – горизонтальная и вертикальная компоненты пульсационной скорости течения;

$z_0$  – «опорная» точка, относительно которой производился расчёт;

$z$  – вертикальная координата.

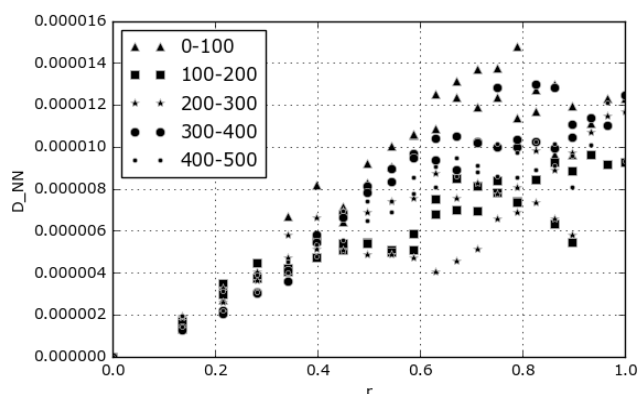
Исследование именно этих функций было приоритетом при первичном анализе базы данных. При этом одновременно решались две задачи: конкретизация зависимости  $D_{LL}$  и  $D_{NN}$  от  $z$  с целью определения характера



спектрального каскада энергии и прямой расчёт величины  $\varepsilon$  как одной из важнейших энергетических характеристик.

При обработке эксперимента особое внимание было уделено выделению пульсационной компоненты скорости из мгновенной и выбору временного масштаба осреднения в (1). Было обнаружено, что при периоде осреднения 30-50 минут достигается «насыщение», воспроизводимость вида структурных функций. В этой связи в качестве базового периода осреднения использовался временной промежуток 50 мин. Основным полученный при этом результат заключается в обнаружении как в продольных, так и в поперечных функциях Колмогоровского интервала, в котором выполняется известный «закон 2/3»:

$$D = C\varepsilon^{2/3}r^{2/3} \quad (2)$$



**Рис.** Динамика изменения  $D_{NN}$  во времени, начало 10.04.2016 9:09, период осреднения 100 мин.

Конкретные расчёты  $\varepsilon$  осуществлялись с помощью метода наименьших квадратов. Принимая для констант Колмогорова их классические значения, из данных, представленных на рис., были получены следующие данные по эволюции  $\varepsilon$  (t), представленные в таблице.

**Таблица** Результаты расчёта  $\varepsilon$ , с использованием поперечной структурной функции

Время в минутах, отсчет от 09:09 10.04.16	$\varepsilon$ (м <sup>2</sup> /с <sup>3</sup> , или Вт/кг).	Погрешность $\Delta\varepsilon$	$\varepsilon$ (м <sup>2</sup> /с <sup>3</sup> , или Вт/кг).
0	6,66439E-08	3,71581E-09	$(6,7\pm0,4) \cdot 10^{-8}$
100	3,88397E-08	2,26082E-09	$(3,9\pm0,2) \cdot 10^{-8}$
200	4,63231E-08	3,17813E-09	$(4,6\pm0,3) \cdot 10^{-8}$
300	5,30843E-08	2,82651E-09	$(5,3\pm0,3) \cdot 10^{-8}$
400	4,79452E-08	1,80063E-09	$(4,8\pm0,2) \cdot 10^{-8}$
500	3,53434E-08	1,59395E-09	$(3,5\pm0,2) \cdot 10^{-8}$
600	1,50235E-08	9,25488E-10	$(1,5\pm0,1) \cdot 10^{-8}$
700	1,69745E-08	2,13404E-09	$(1,7\pm0,2) \cdot 10^{-8}$

Таблица иллюстрирует порядок погрешности ( $\sim 5\%$ ) и тенденцию к её увеличению при уменьшении  $\varepsilon$ . Среднее за указанный период времени значение  $\varepsilon$  составляет  $4,00 \cdot 10^{-8}$ . В целом данные находятся в согласии с известными результатами, приведёнными в [116, 116]. В то же время дальнейший анализ структурных функций выявил ряд их существенных особенностей. Первая из них связана со значениями констант Колмогорова. В случае изотропности мелкомасштабных пульсаций из инерционного интервала должно выполняться каноническое соотношение  $C' = (4/3) C$ . Однако при анализе полученных данных для  $C'/C$  было получено значение 8,5, что может свидетельствовать об анизотропности пульсаций даже в инерционном интервале.

Вторая особенность выявилась при анализе графиков структурных функций с максимальным периодом осреднения: здесь в ряде случаев наблюдается расщепление инерционного интервала на 3 субинтервала. Этот факт может свидетельствовать о наличии нескольких источников и механизмов накачки энергии.

Для уточнения этих механизмов и особенностей требуются дополнительные исследования.

### *Литература*

1. Зилитинкевич С.С. Проникающая турбулентная конвекция. Таллин: Валгус, 1989. 207 с.
2. Кузнецова Д.В., Сибгатуллин И.Н. Переходные режимы проникающей конвекции в плоском слое воды // Доклады Академии Наук 2011. Т. 438. №5. С. 47-50.
3. Пальшин Н.И. Термические и гидродинамические процессы в озерах в период ледостава. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 86 с.
4. Mironov D., Danilov S., Olbers D. Large-Eddy Simulation of Radiatively-Driven Convection in Ice-Covered Lakes. 2001.
5. Mironov D., Terzhevik A., Kirillin G., Jonas T., Malm J., Farmer D. Radiatively driven convection in ice-covered lakes: observations, scaling, and a mixed layer model // Journal of Geophysical Research. 2002. Vol. 107, Issue C4. P. 7-1-7-16.
6. Straus J. Penetrative Convection in a Layer of Fluid Heated from within // The Astrophysical Journal. 1976. Vol. 209. P. 179-189.
7. Wüest A., Lorke A. Small-Scale Hydrodynamics in Lakes // Annual Review of Fluid Mechanics. 2003. Vol. 35. P. 373-412.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА МЕЛКОВОДНЫХ БОРЕАЛЬНЫХ ОЗЕР НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНЕГО НАГРЕВАНИЯ<sup>4</sup>**

**Гавриленко Г.Г., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Тержевик А.Ю.**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

*г. Петрозаводск, Россия*

*gg.gavrilenko@gmail.com*

Мелководные стратифицированные водоемы, в которых вертикальная изменчивость как гидрофизических, так и химико-биологических характеристик преобладает над горизонтальной, широко распространены в умеренной и субполярной зонах североамериканского и евразийского континентов. Температурный режим водной толщи небольших озер является ключевым параметром функционирования всей озерной экосистемы. Весенне-летнее нагревание озер умеренных широт начинается в момент, когда суточный тепловой поток становится направленным в воду. На финальном этапе таяния льда, и в течение некоторого времени после вскрытия озера, прогрев верхнего слоя воды протекает в условиях конвективного перемешивания, в результате которого водная толща приходит в состояние гомотермии, достигая температуры максимальной плотности воды 4°C. Таким образом, создаются предпосылки для формирования прямой термической стратификации, так как дальнейшее нагревание водной толщи будет вести к формированию у поверхности слоя воды с меньшей плотностью и появлению устойчивого расслоения. Активное развитие фитопланктона может существенно снижать прозрачность верхнего слоя воды, изменяя условия освещенности в нижележащих слоях. Детальное изучение раннего периода весенне-летнего нагревания с момента взлома снежно-ледяного покрова до формирования устойчивой стратификации продиктовано влиянием данной стадии термического цикла на термику всего периода открытой воды. Даже небольшие сдвиги в сроках взлома льда, прогрева в близком к гомотермии состоянии и начала стратифицированного периода могут оказывать существенное влияние на количественный и качественный состав планктонного сообщества, определяющего, в свою очередь, показатели прозрачности воды [2, 4].

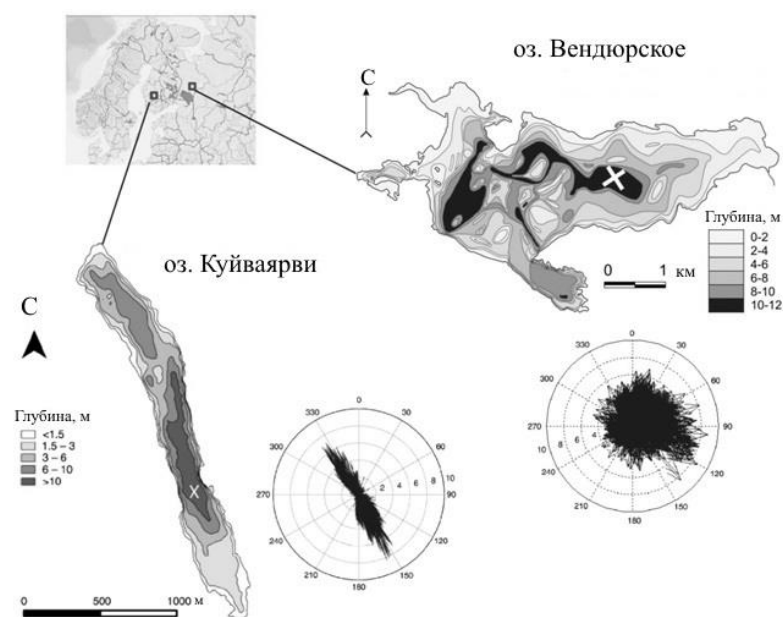
В качестве объектов исследования выступают два небольших озера, расположенных в пределах одной климатической зоны – оз. Вендюрское (62°10'-62°20'N, 33°10'-33°20'E; Карелия, Россия) и оз. Куйварви (61°50'N, 24°17'E, Финляндия). Водоемы сопоставимы по ряду морфометрических показателей, таких как средняя и максимальная глубина, (5,3 м и 13,4 м соответственно для оз. Вендюрского и 6,4 м и 14 м для оз. Куйварви), но при этом значительно отличаются площадями поверхности и формой котловины

---

<sup>4</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 13-05-00338 и 14-05-00787) и Международного фонда исследовательской мобильности им. М. Кюри (проект GHG-LAKE № 612642).

(площадь зеркала вод составляет 10,4 км<sup>2</sup> для оз. Вендюрского и 0,6 км<sup>2</sup> - для Куйваярви) (см. рис.).

Особенности термического режима и перемешивания вод обоих озёр исследовались на основе высокочастотных данных натурных измерений, полученных в ходе полевых работ лаборатории гидрофизики ИВПС КарНЦ РАН и департамента физических наук Университета Хельсинки. В период с 2008 по 2016 г. на оз. Вендюрском проводились круглогодичные измерения температуры воды и содержания растворенного кислорода на автономных буйковых станциях – косах, оснащенных высокочувствительными датчиками производства компании RBR Ltd., Канада. На оз. Куйваярви, в центральной его части также были организованы долгопериодные наблюдения за температурой воды на различных горизонтах [3].



**Рис.** Географическое положение, батиметрия исследуемых озёр и преобладающие ветры на прилегающей территории. Крестиком обозначено расположение станций измерений

Для анализа синоптических условий использовались данные, полученные из открытых источников для ближайшей к оз. Вендюрскому МС Петрозаводск ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)) и со станции SMEAR II, расположенной в непосредственной близости от Куйваярви (<http://avaa.tdata.fi>). Нами были определены характерные сроки наступления значимых с точки зрения термического режима событий, таких как начало весенней подледной конвекции, взлом снежно-ледяного покрова, достижение водной толщей озера температуры максимальной плотности, начало стратификации (табл. 1А и табл. 1Б). Весенняя подледная конвекция в озере начинается с момента проникновения под лед солнечной радиации, которая нагревает верхние слои воды и вызывает плотностное перемешивание. Характерные сроки события для оз. Вендюрского – вторая половина апреля, на оз. Куйваярви подледный радиационный прогрев обычно начинается раньше на 2-3 недели, тогда как в

2013г. наблюдался относительно поздний старт конвекции, при этом перемешивание достигло дна за характерный период, близкий к 2 неделям. Установлено, что период взлома льда и освобождения акватории от плавучих льдин для оз. Вендюрского составляет 1-4 суток, в этот промежуток времени наблюдается неоднократное перемешивание водной толщи и выравнивание ее температуры по вертикали, после чего начинается этап прогрева водной толщи в состоянии, близком к гомотермии, составлявший от 8 до 30 дней в различные годы.

**Таблица 1 А.** Этапы весенне-летнего нагревания для оз. Вендюрского

Год	Старт подледной конвекции	Взлом льда	Достижение температуры максимальной плотности	Периоды стратификации
2009	16 апреля	8 мая	10 мая	9-16 июня, 23 июня - 7 июля, 11 июля - 15 августа
2010	2 апреля	1 мая	4 мая	10-30 мая, 8 июня – 26 августа
2011	6 апреля	1-4 мая	9 мая	1-17 июня, 23 июня - 11 июля, 14 июля - 10 августа
2012	18 апреля	5 мая	10 мая	19 мая - 2 июня, 6 - 21 июня, 28 июня - 20 июля, 26 июля - 8 августа, 11 - 20 августа
2013	17 апреля	3 мая	8 мая	11 - 23 мая, 23 мая - 29 июля, 29 июля - 16 августа
2015	12 апреля	30 апреля	7 мая	25 мая - 3 июня, 18 июня - 1 августа, 4 - 15 августа, 18 - 29 августа

Достижение водной толщей температуры 4°C говорит о прекращении конвективного перемешивания и создании предпосылок для перехода озера в устойчиво стратифицированное состояние В случае оз. Куйварви переход водного столба через температуру максимальной плотности происходит через 1-3 дня после вскрытия ото льда, тогда как в оз Вендюрском этот процесс может протекать больше недели.

Оз. Вендюрское характеризуется полимиктическим типом перемешивания, тогда как Куйварви является типичным димиктическим водоемом с двумя полными перемешиваниями в годовом цикле. При этом, в 2010 г., когда на территории всей Европейской части России была зафиксирована аномальная летняя жара, Вендюрское озеро пребывало в стратифицированном состоянии рекордно долгий срок, что сопровождалось заметной гипоксией в придонных слоях.

Дополнительно были проанализированы данные по распределению в водной толще фотосинтетически активной радиации на этапе активного таяния снежно-ледяного покрова и в период открытой воды. На основе полученных данных был рассчитан коэффициент ослабления ФАР путем решения обратной задачи из экспоненциального распределения:

$$I_z = I_0 e^{-\gamma z}$$

где  $I_z$  - количество радиации на глубине  $z$ ,  $I_0$  - количество радиации на поверхности или верхнем горизонте измерений,  $\gamma$  - коэффициент ослабления потока радиации.

**Таблица 1 Б.** Этапы весенне-летнего нагревания для оз. Куйвоярви

Год	Старт подледной конвекции	Взлом льда	Достижение температуры максимальной плотности	Периоды стратификации
2011	-	2 мая	4 мая	9 мая-9 октября
2012	-	7 мая	-	14 мая-7 октября
2013	20 апреля	1 мая	2 мая	7 мая-13 октября
2014	13 марта	13 апреля	14 апреля	23 апреля-9 мая, 15 мая-30 сентября
2015	15 марта	22 апреля	25 апреля	17 мая-3 октября

Установлено, что коэффициент ослабления в верхних слоях вод озера Куйвоярви в летний период составляет  $3,8-4,5 \text{ м}^{-1}$ , для озера Вендюрского этот показатель составляет  $2-2,5 \text{ м}^{-1}$  для периода интенсивного таяния снежно-ледяного покрова и  $1,4-1,8 \text{ м}^{-1}$  для открытой воды. Дальнейшее исследование будет сфокусировано на количественной оценке вкладов метеорологического воздействия, прозрачности воды и морфометрических параметров водоема в формирование благоприятных для развития устойчивой стратификации условий.

### *Литература*

1. Гавриленко Г.Г., Здоровеннова Г.Э., Здоровеннов Р.Э., Пальшин Н.И., Тержевик А.Ю. Термический и кислородный режимы мелководного озера на этапе летнего нагревания. Геополитика и экогеодинамика регионов. Т. 10. Вып. 1. Симферополь, 2014. С. 414-420.
2. Farmer D.M, Carmack E. Wind mixing and restratification in a lake near the temperature of maximum density. J. Phys. Oceanogr. 1981. V. 11. P. 1516–1533.
3. Heiskanen J.J., Mammarella I., Ojala A., Stepanenko V., Erkkilä K.-M., Miettinen H., Sandström H., Eugster W., Leppäranta M., Järvinen H., Vesala T., Nordbo A. Effects of water clarity on lake stratification and lake-atmosphere heat exchange Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2015 V. 120 (15). P. 7412-7428.
4. Hutchinson, G. A treatise on limnology/ G. Hutchinson. N.Y.: V I. J. Wiley and Son, Inc. 1957. 1015 p.
5. Kirillin G. Modeling the impact of global warming on water temperature and seasonal mixing regimes in small temperate lakes. Boreal Env. Res. 2010. V. 15: 279-293.

## СОВРЕМЕННАЯ РЕЧНАЯ ГИДРОГРАФИЯ И ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Фолимонова Ю.С.

*Воронежский государственный университет*

*Воронеж, Россия*

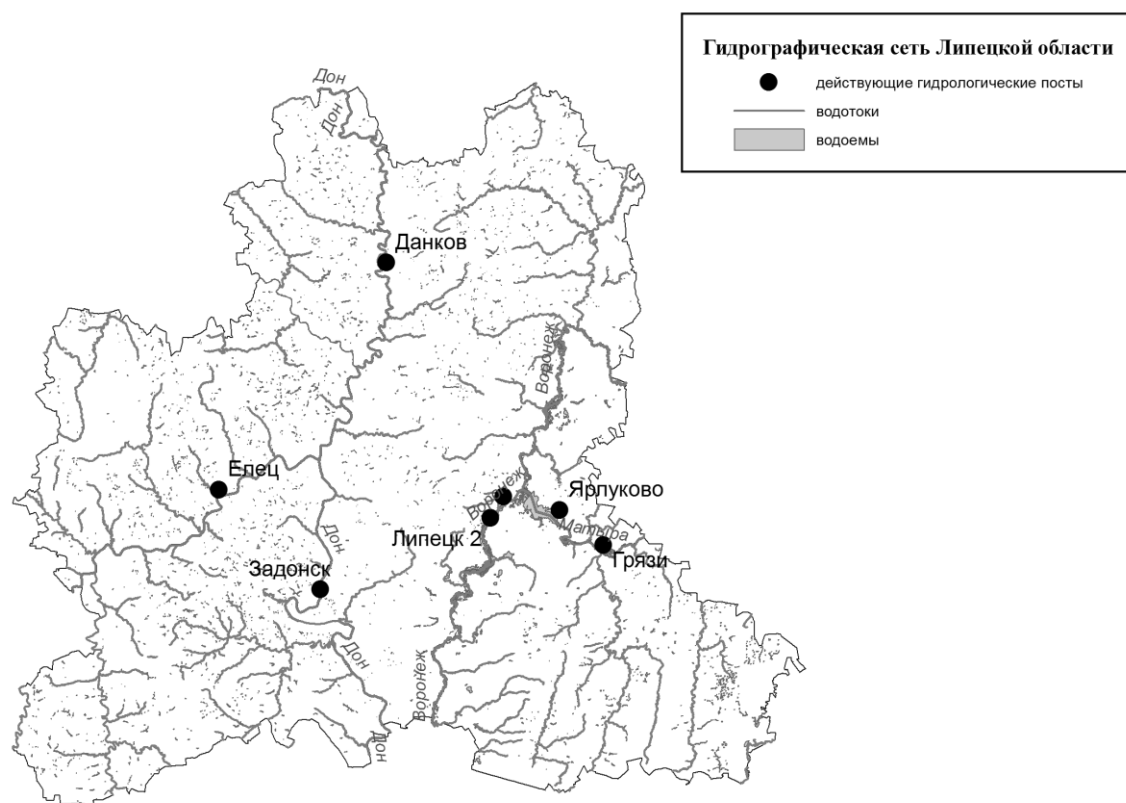
*cgms-buh@mail.ru*

Речные воды являются основой динамических водных ресурсов, по которым оценивается водно-ресурсный потенциал административных областей. Природные условия определяют основные черты речной гидрографии. Липецкая область располагается в пределах древней Русской платформы на стыке Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменности. Граница между ними на территории области проходит по долинам рек Воронежа и Становой Рясы. Окско-Донская низменность имеет слабо расчленённый рельеф с высотами 150-170 м, в пределах же Среднерусской возвышенности максимальная высота местности достигает 262 м. Особенности рельефа, наряду с климатом и иными компонентами природной среды, формируют характерные черты и специфические признаки гидрографии рек области. Водотоки, стекающие со Среднерусской возвышенности, отличаются значительным уклоном, быстрым течением, хорошо выраженной глубинной и боковой эрозией. Реки Окско-Донской низменности, имеют небольшие уклоны, медленное течение, преобладание боковой эрозии.

Гидрографическая сеть Липецкой области достаточно хорошо развита. Водотоки преимущественно принадлежат к речной системе Дона, за исключением р. Ранова с притоком Сухая Кобельша и р. Малая Хупта с истоком в Чаплыгинском районе, которые относятся к бассейну Верхней Волги. Сведения о водотоках, протяженностью более 10 км обобщены в [3]. Но основу речной гидрографии составляют малые водотоки длиной менее 10 км. С привязкой к административной площади области они были впервые систематизированы в [1]. Согласно уточненным данным, гидрографическая сеть представлена 942 водотоками, постоянно или временно заполненными водой, суммарная протяженность которых составляет 6310 м. В границах региона они создают густоту речной сети равную 0,26 км/км<sup>2</sup>. Кроме того, на территории Липецкой области насчитывается 1814 прудов и водохранилищ, более 2000 родников. По режиму реки Липецкой области, несмотря на тенденцию к снижению внутригодовой неравномерности стока, относятся к рекам с весенним половодьем. Самой крупной рекой области является Дон. Она берет начало в северной части Среднерусской возвышенности на территории Тульской области, пересекает Рязанскую область и втекает в границы Липецкой области. Длина реки от входного до выходного створов за вычетом части реки, принадлежащей Воронежской области, равна 292 км. Падение реки Дон в границах области достигает 48 м, от отметки русла реки 139 м на севере до 91 м. на юге [2]. По области протекает река Воронеж, которая является притоком 1-го порядка Дона, но в Дон она на



рассматриваемой территории не впадает. У реки выраженная левая асимметрия притоков (рис.).



**Рис.** Гидрографическая сеть Липецкой области

Гидрологические измерения на р. Дон проводятся на двух гидрологических постах. Первый пост расположен в г. Данков (53 10' с.ш., 39 10' в.д.) и был открыт 12.04.1942 г. С момента открытия и до 1969г. был уровенным постом (ГП-2-го разряда), а в 1970-1973 гг. выполнял полный объем наблюдений (ГП-I-го разряда), а с 1974г. вновь стал работать по сокращенной программе. Второй гидрологический пост р. Дон – г. Задонск (52 24' с.ш. 38 55' в.д.) функционирует с 1927г. и ведет полный объем наблюдений и измерений. Средний многолетний расход за 1928-2015 гг. (с перерывами в наблюдениях) составляет 126 м<sup>3</sup>/с.

С правого берега в р. Дон втекают крупные притоки: Красивая Меча и Сосна. Водный режим р. Красивая Меча изучался в гидрологическом створе Сергиевское 1-е (53 02' с.ш., 38 51' в.д.). Гидрологический пост был открыт 20.06.1932г. Перерывы в измерениях расходов воды были лишь в 1941-1942 гг., и в 1972г., в 1987г. измерения расходов воды проводились нерегулярно. В 1990г. наблюдения на гидрологическом посту были прекращены. Фактический ряд наблюдений насчитывал 51 год, что позволяет рассчитать средние многолетние характеристики стока. Средний многолетний расход воды р. Красивая Меча - с. Сергиевское 1-е составляет 34,5 м<sup>3</sup>/с. На р. Сосна гидрологический пост Елец (52 38' с.ш. 38 31' в.д.) при метеостанции Елец

был открыт 14.03.1927г, перерывы в наблюдениях были в 1936, 1941-42 гг. Средний многолетний расход за 1927 – 2015 гг. (с перерывами в наблюдениях) составляет 66,4 м<sup>3</sup>/с. Все водотоки левобережья р. Дон в пределах области - мелкие, с невысокой водностью.

Вторая по протяженности река Липецкой области - р. Воронеж. Она также является транзитной, поступает из Тамбовской области, а вытекает в Воронежскую область, где с левого берега впадает в р. Дон. Протяженность реки Воронеж в черте Липецкой области - 214 км, площадь водосбора – 8910 км<sup>2</sup>. Гидрологические измерения на р. Воронеж проводятся на двух гидрологических постах. В 1914 г. был организован первый пост р. Воронеж-Липецк 1 (52° 37' с.ш. 39° 37' в.д.). С 1931г. по 1975г. на посту производились измерения расходов воды, но с 1975г. он функционирует как уровенный пост при Липецком ЦГМС. В 1975г. открылся второй пост р. Воронеж-Липецк 2 (52° 34' с.ш. 39° 34' в.д.). Средний многолетний расход воды составляет 50,6 м<sup>3</sup>/с. Р. Воронеж образует мощную речную систему из 319 водотоков, притоки сильно разнятся по морфометрическим и гидрологическим характеристикам. Самый крупный правый приток на рассматриваемой территории – р. Становая Ряса, длиной 71,7 м, крупнейший левый приток – р. Матыра, длиной 47,7 км.

Водный режим р. Матыры изучался с 1955г. в створе с. Сеченовка, затем пост был перенесен в г. Грязи, где просуществовал по 1975г., до создания Матырского водохранилища. С созданием искусственного водоема на вдхр. Матырское были открыты озерные гидрологические посты – в 1976г. ОГП-2 Грязи и в 1978г. ОГП-2 Ярлуково. Створ для измерения расходов воды на в реке в 1976г. был перенесен ближе к истоку р. Матыра в с. Крутое (52° 32' с.ш. 40° 17' в.д.), которое расположено в Тамбовской области. Самыми крупными притоками Матыры являются реки Пластица и Байгора. Р. Байгора почти в 2 раза превосходит Матыру по длине на территории области. В период 1978 - 1997 гг. на р. Байгора существовал гидрологический пост Княжья Байгора (52° 23' с.ш. 40° 01' в.д.). На р. Пластица действовал пост Богородицкое (52° 17' с.ш. 40° 22' в.д.), который с 1950г по 1999г. вел режимные наблюдения. В междуречье р. Дон и р. Воронеж имеются понижения, в которых образуются небольшие водные потоки, не имеющие связи с реками речных систем. Такие водотоки текут в межбассейновых пространствах, впадая в водоемы или теряясь по пути движения. Здесь наблюдается наименьшая густота речной сети - 0,18 км/км<sup>2</sup>.

Основными тенденциями в региональной гидрографии можно считать сокращение длины малых водотоков, утрату прежнего статуса (превращение постоянного водотока во временный), изменение размеров водотока. Современная протяженность рек, длиной до 10 км, оценивается величиной на 90 км меньше, чем в [3].

Актуальной проблемой является необходимость в организации полноценного контроля состояния малых рек, играющих важную роль в формировании водного фонда Липецкой области. Их режим недостаточно изучен в условиях возрастания масштабов водопользования и негативного влияния антропогенных факторов.

## *Литература*

1. Дмитриева В.А., Илатовская Е.С. Гидрография рек Липецкой области. Каталог водотоков: монография. Липецк: БИ, 2010. 149 с.
2. Липецкая область. Топографическая карта. Изд-во: 439ЦЭВКФ, 1999. 41 с.
3. Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т 7. Донской район. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 267 с.

### **ЗИМНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЁР ВАЛДАЙСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ**

**Ломов В.А., Льюмменс Л., Захарова Э.Д., Колий В.М., Куликов В.А.,  
Якимова А.И., Базилова В.О., Ликарь Э.-Л.Д., Бекасов М.А.,  
Панченко Е.Д., Льюменс М., Терешина М.А., Езерова Н.Н.,  
Камышев А.А., Фатхи М.О., Цыплёнков А.С.**

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Москва, Россия*

*anyakimova96@gmail.com, dimka.kulikov96@mail.ru*

Экспедиция НСО кафедры гидрологии суши проходила в период 27.01–05.02.2016г. в национальном парке «Валдайский» (НП) с целью изучения зимнего гидрологического состояния озёр парка. В задачи экспедиции входило гидролого-гидрохимическое обследование водных объектов в бассейне оз. Вельё – крупнейшего водоёма НП, используемого для коммунально-бытовых, рекреационных и рыбохозяйственных целей; оценка водного баланса оз. Вельё; продолжение исследований озёр системы Боровно–Разлив [1]; изучение условий зимовки рыбы в озёрах НП.

Синоптические условия характеризовались повышенными значениями температуры воздуха (средняя  $+0,84^{\circ}\text{C}$ ), устойчивым переходом температуры к положительным значениям и большим количеством осадков (910 мм). По данным регулярных снегомерных съёмок, плотность снежного покрова за 10 дней увеличилась в 1,8 раз (от 185 до 325 кг/м<sup>3</sup>), а его высота на территории водосбора уменьшилась до нескольких сантиметров. Измеренные расходы воды 14 водотоков системы оз. Вельё составляли от 4 л/с (ручьи) до 3,5 м<sup>3</sup>/с (р. Либья). В период экспедиции измеренный приток в озеро составлял 0,5–0,6 м<sup>3</sup>/с, сток по рекам Либья и Явонь около 3,6 м<sup>3</sup>/с.

Исследуемые водные объекты имеют минерализацию менее 200 мг/л и естественный для региона гидрокарбонатно-кальциевый состав. Наибольшая минерализация воды (до 260 мг/л) отмечена в водотоках с преобладанием подземного питания.

Содержание фосфора в оз. Вельё неоднородно по глубине. Средневзвешенная по объёму концентрация валового фосфора составила около 43 мкг/л при коэффициенте вариации 40%. В глубоких частях озёр преобладал минеральный фосфор, в мелководных – органический. Концентрация валового фосфора в речной воде в среднем около 60 мкг/л, доля его минеральной формы достигала 65%.

Содержание растворённого кислорода (РК) в водных объектах парка изменялось от 0,3 до 14,7 мг/л, в озёрах уменьшаясь с глубиной, что обусловлено процессами окисления органических веществ (ОВ). Особенность вод озёр НП – повышенное содержание ОВ, влияющее на пригодность воды для питьевого водоснабжения (СанПиН 2.1.4.1074-01). Цветность воды (ЦВ) в водоёмах системы оз. Вельё составляла 15–35 град., перманганатная окисляемость (ПО) 7–9 мгО/л. Максимальное содержание ОВ (ЦВ в среднем 50 град., ПО до 22 мгО/л) наблюдалось в водотоках, что обусловлено поступлением ОВ с водосбора. Для изучения состава грунтовых и подземных вод отбирались пробы воды из колодцев по берегам оз. Вельё. Их химический состав определяется глубиной и местоположением колодцев. На акватории озёра Вельё выполнено исследование продукционно-деструкционных процессов в донных отложениях.

Проведённое исследование позволило впервые составить детальную количественную гидрохимическую и водно-балансовую характеристику частично зарегулированного водоёма – оз. Вельё в зимний период. Вода озёр и рек водосбора оз. Вельё по химическим показателям соответствует нормативам питьевой воды, а по содержанию органических веществ превышает нормативы. Условия зимовки рыбы по содержанию растворённого кислорода в целом благоприятны даже в придонных слоях глубоководных участков исследованных озёр.

### *Литература*

1. Отчёт зимней экспедиции НСО кафедры гидрологии суши географического ф-та МГУ имени М. В. Ломоносова, 2010.

## **СТОК ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ КРУПНЫХ РЕК ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ, ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ ВО ВРЕМЕНИ И БАЛАНС<sup>5</sup>**

**Мельникова Я.А., Вершинин Д.А.**

*Томский государственный университет*

*г. Томск, Россия*

*yaroslava5515@list.ru*

Наносы являются важной гидрологической характеристикой, они влияют на формирование русла и поймы водотоков, эффективность работы водозаборов, водосбросов, заиление водохранилищ и т.д. Взвешенные наносы образуются в результате смыва минеральных частиц со склонов, размыва дна и берегов рек. Откладываясь на участках с малыми скоростями течений, наносы формируют берега и поймы рек. Содержание взвешенных частиц

---

<sup>5</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 16-45-700021.

влияет на существование гидробионтов: оказывает механическое воздействие на ткани живых организмов, определяет их способность к дыханию и метаболизму, лимитирует первичную продукцию, изменяет кормовую базу.

В данном исследовании для определения баланса взвешенных наносов на территории Томской области выбраны реки, формирующие большую часть стока воды и наносов за пределами области и замыкающий створ, определяющий вынос взвешенных наносов с территории области.

Главной водной артерией области является Обь. Она образуется на Алтае при слиянии Бии и Катунь. Длина Оби — 3650 км, площадь её водосборного бассейна — 2 990 000 км<sup>2</sup>. Обь пересекает территорию области с юго-востока на северо-запад. Протяженность реки Оби по территории Томской области 1080 км. На территории области в Обь впадают крупные реки: Томь, Чулым, Чая, Кеть, Парабель, Васюган, Тым. По водному режиму реки относятся к западно-сибирскому типу, они имеют длительное весенне-летнее половодье (2-3 мес.). Подъем уровня весной происходит чаще в середине-конце апреля. Ранний подъем бывает в конце марта, а поздний в начале мая. Наиболее крупный по водности приток Оби – р. Томь.

Р. Томь берёт начало на западном склоне Абаканского хребта. Её бассейн, имеющий грушевидную форму, узкой частью ориентирован на северо-запад. Площадь бассейна – 62 000 км<sup>2</sup>, длина реки – 827 км. По водному режиму она относится к рекам с весенне-летним половодьем и паводками в тёплое время года. Основная фаза – половодье, в течение которого проходит 60–90% годового стока и отмечаются максимальные расходы и уровни воды. Половодье начинается в середине апреля.

После половодья устанавливается летне-осенняя межень, прерываемая дождевыми паводками. Зимняя межень начинается в конце октября – начале ноября и продолжается до начала половодья [3]. Протяженность р. Томи на территории Томской области 126 км.

Чулым – образуется слиянием рек Белый и Чёрный Июс, берущих начало с Кузнецкого Алатау, в 40 км к югу от Ужура у посёлка Малый Сюттик, Хакасия). Длина — 1799 км, площадь бассейна — 134 тыс. км<sup>2</sup>. Протяженность реки Чулым на территории Томской области 725 км [1]. Кия – левый приток Чулыма. Берёт начало в Кемеровской области, течёт в верховьях главным образом на северо-запад в пределах восточных склонов Кузнецкого Алатау, низовье в Томской области, Устье-Чулым. Длина — 548 км площадь бассейна — 32200 км<sup>2</sup>.

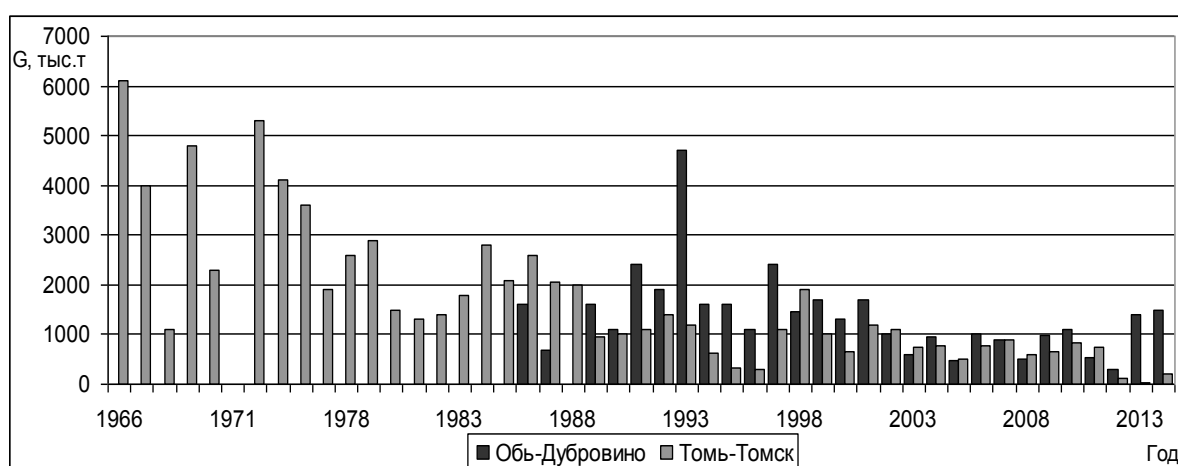
Протяженность р. Кия на территории Томской области 90 км [1]. Для анализа баланса взвешенных наносов на территории Томской области были выбраны гидрологические посты, приведенные в таблице. В качестве замыкающего створа были взяты два поста на реке Оби в нижнем течении области – Прохоркино и Александровское т.к. наблюдения за взвешенными наносами до закрытия поста в 1997 г. производились на посту Прохоркино, а после его закрытия перенесены в с. Александровское.

Для оценки баланса наносов использованы данные о годовом стоке взвешенных наносов на данных постах. На рис. 1 приведены значения годового стока взвешенных наносов для постов Обь-Дубровино и Томь –

Томск.

**Таблица 1.** Сведения о рассматриваемых гидрологических постах

Река	Гидропост	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Отметки нуля постов, м	Период действия
Обь	Александровское	1830	765000	32,24	18.12.1894 (19.09.1934)
Обь	Прохоркино	2024	738000	38,26	15.08.1959 – 01.11.1997
Обь	Дубровино	2876	258000	82,52	18.08.1958
Томь	Томск	75	57000	69,98	31.10.1893
Чулым	Тегульдэт	598	55300	123,48	11.12.1893
Кия	Мариинск	252	9820	119,63	07.09.1934



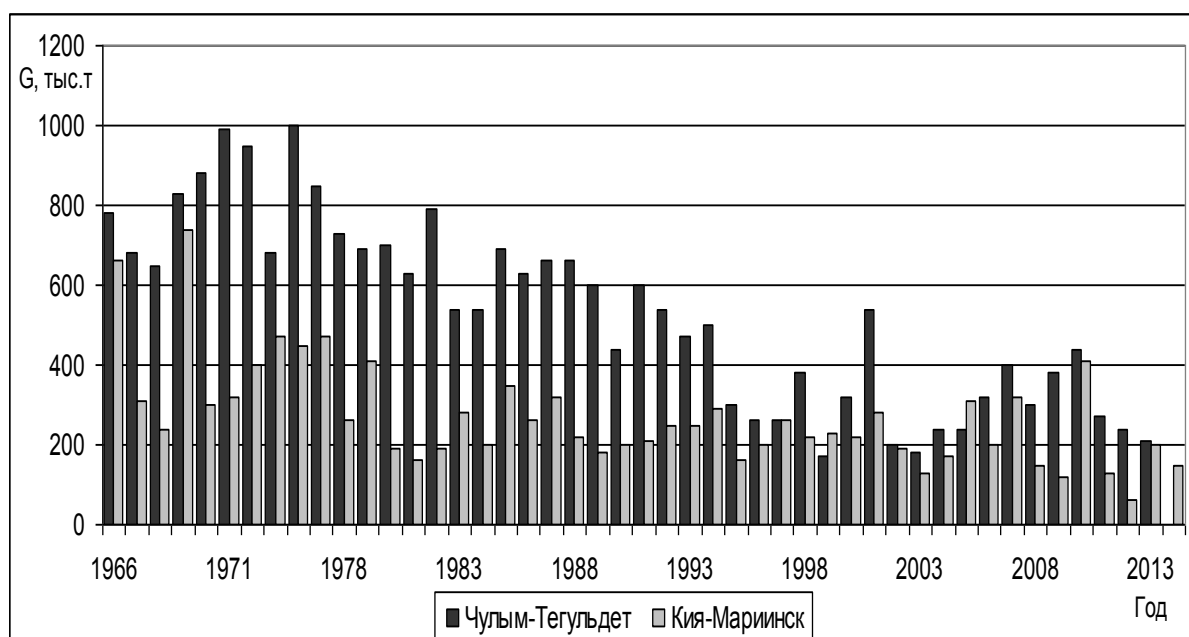
**Рис. 1.** Графики хода годового стока взвешенных наносов на постах Обь-Дубровино и Томь-Томск

На р. Обь пост Дубровино наблюдения начаты в 1986г. Максимальный годовой сток взвешенных наносов наблюдался в 1993 году - 4700 тыс. т, средний годовой сток взвешенных наносов за период с начала наблюдений составил 1360 тыс. т. На р. Томи посту Томск расход за период наблюдений с 1966г. годовой сток взвешенных наносов колеблется от 6100 до 300 тыс. т. Максимальный сток взвешенных наносов наблюдался в 1966 и 1972-х гг. и составил 6100 и 5300 тыс. т соответственно, а с конца 1980-х годов сток взвешенных наносов снизился, и среднее значение стока взвешенных наносов за этот период составило 800 тыс. т.

На р. Чулым пост Тегульдэт максимум годового стока взвешенных наносов наблюдался в 1975 году, он составил 1000 тыс. т, в среднем за период с 1966 по 2005г. составил 570 тыс. т. С начала 1970-х до середины 1990-х гг. заметна тенденция к снижению годовой стока взвешенных наносов, а затем снижение прекращается, за период с 1995 по 2013 гг. годовой сток взвешенных наносов составил 300 тыс. т. На р. Кия пост Мариинск максимальный годовой сток взвешенных наносов наблюдался в 1969г. и составил 740 тыс. т, далее за весь период наблюдения среднее значение годового стока взвешенных наносов

составило 290 тыс. т.

Графики хода годового стока взвешенных наносов на постах Чулым-Тегульдет и Кия-Мариинск приведены на рис. 2.



**Рис. 2.** Графики хода годового стока взвешенных наносов на постах Чулым-Тегульдет и Кия-Мариинск

В замыкающем створе на р. Оби посты Прохоркино и Александровское годовой сток взвешенных наносов за весь период наблюдения колебался от 17000 до 1600 тыс. т. в период с 1966 по 1976 г. наблюдалось высокие значения стока взвешенных наносов, средний сток за это время составил 13800 тыс. т, далее стока взвешенных наносов стал заметно уменьшаться и в период с 1980 по 2014 гг. средний сток взвешенных наносов составил 4900 тыс. т. График хода годового стока взвешенных наносов на постах Обь – Прохоркино, Александровское приведены на рис. 3.

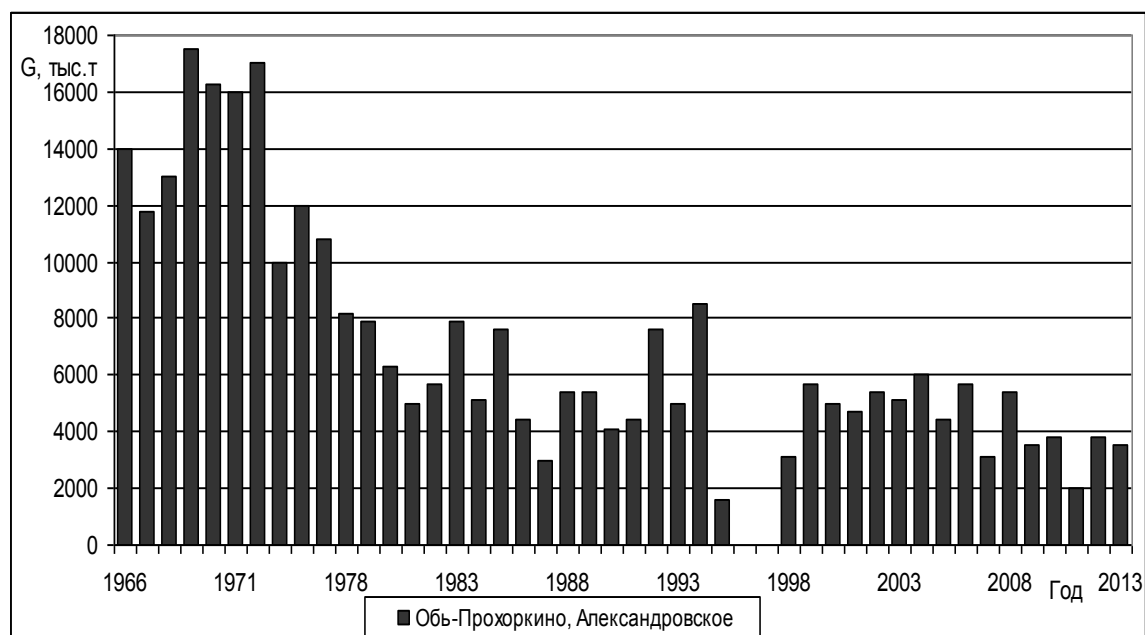
Анализируя ход объема стока взвешенных наносов на всех постах, выбранных для анализа можно сделать вывод, что в целом наблюдается общая тенденция его снижения, что возможно, связано с общей тенденцией снижения стока предгорий Алтая, бассейнов Томи и Чулыма [2]. На рис. 4 графически представлен баланс стока взвешенных наносов период одновременных наблюдений на всех постах как разница между стоком взвешенных наносов на постах Обь – Прохоркино, Александровское и суммой стока взвешенных наносов на постах Обь-Дубровино, Томь-Томск, Чулым-Тегульдет и Кия-Мариинск.

В целом, можно сделать вывод о том, что в Томской области преобладает вынос взвешенных наносов, в 1999г. наблюдался нулевой баланс, а в 1986, 1987, 1996 гг. наблюдалось накопление взвешенных наносов.

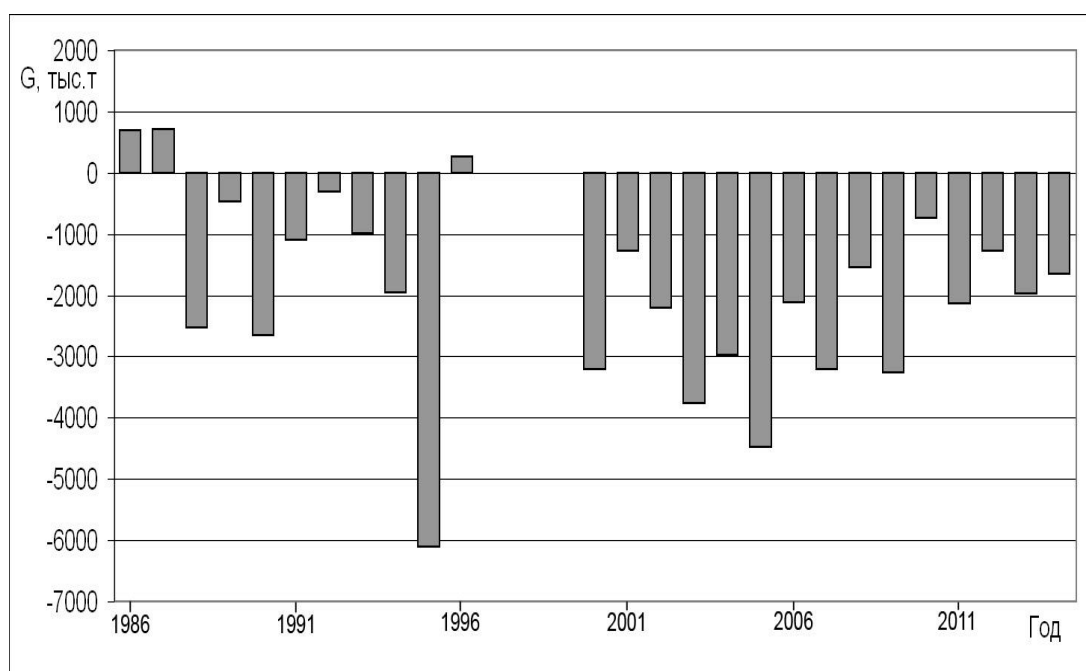
Из анализа исключены данные 1989, 1997 и 1998 гг., т.к. на некоторых постах отсутствовали наблюдения, кроме того, в 2013г. на р. Томь во время



половодья наблюдения за взвешенными наносами не проводились.



**Рис. 3.** График хода годового стока взвешенных наносов на постах Обь – Проходкино, Александровское



**Рис. 4.** Баланс стока взвешенных наносов трансграничных рек Томской области

### *Литература*

1. Евсеева Н.С. География Томской области. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. 223 с.

2. Земцов В.А. Ресурсы поверхностного стока в бассейне Оби: основные закономерности и проблемы управления: Дис. ... д – ра геогр. наук. Томск, 2004. 321 с.
3. Земцов В.А., Вершинин Д.А., Инишев Н.Г. Имитационное моделирование заторов (на примере р. Томь, Западная Сибирь) // Лёд и Снег. 2014. № 3. С. 59-68.