

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию **Промаховой Екатерины Васильевны**, представляемой на соискание ученой степени кандидата географических наук на тему **«Изменчивость мутности речных вод в разные фазы водного режима»** по специальности 25.00.27 – «гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия»

Мутность речных вод – важная гидрофизическая и гидроэкологическая характеристика, показатель интенсивности флювиальных процессов на водосборах, в долинах и руслах рек и, с другой стороны, качества водных ресурсов, условий функционирования субаквальных экосистем. Величина мутности меняется в зависимости от соотношения эрозии и аккумуляции в разных звеньях флювиальной сети, а также в связи с антропогенным воздействием. Пространственные и временные масштабы таких изменений могут быть очень разными, соответственно изменяются ведущие факторы, определяющие величину мутности речных вод – на малом водосборе или крупнейшей реке; в точке, на бесприточном участке либо ниже узла слияния, от истока к устью; в пределах одного дождевого события, фазы водного режима, в многолетнем разрезе. Множественные возможные постановки исследовательских задач должны опираться на соответствующий фактический материал. Существующая сеть регулярных наблюдений за мутностью воды редка, данные наблюдений не всегда доступны, национальная методика *in situ* определения мутности отстает от современных мировых гидрометрических практик.

В основу диссертационной работы, представляемой к защите, положены материалы полевых работ на различных реках России и Монголии, полученные автором лично или при ее деятельном участии, с применением различных полевых и дистанционных методов. Работа рассматривает современную методическую основу определения мутности воды, *in situ* дистанционного, чтобы затем с применением этих методов установить основные закономерности изменения мутности воды в различных пространственно-временных масштабах. Методический аспект выполненной работы актуален, поскольку сейчас современные методы гидрофизических исследований развиваются быстрее, чем национальные стандарты в этой области. Методические указания по определению мутности выпущены в 2002 г. и не учитывают мировой практики в данной области (использование разнообразных фильтрующих материалов, оптических методов). В этом смысле полученные в данной диссертационной работе выводы позволяют

обоснованно опираться на них узкому кругу исследователей, работающих в данной области, внедряя новые техники. С другой стороны, задача оценки последствий активной разработки месторождений в прирусловой зоне водотоков, с точки зрения ее влияния на величину мутности и деградацию качества субаквальных местообитаний, также является **актуальной**. Наиболее важные результаты, полученные в рамках данного диссертационного исследования, лежат именно в этих двух плоскостях: методической и гидроэкологической (оценка антропогенного воздействия).

Важным достижением диссертационной работы является подробный анализ существующих методов определения мутности воды, подкрепляющий первое защищаемое положение. Еще пятнадцать-двадцать лет назад мутность воды рассматривалась многими как маргинальный показатель, принимаемый во внимание в основном при решении исследовательских задач в области геоморфологии, либо при рассмотрении технических, инженерных проблем. «Проснувшийся» в последнее десятилетие гигантский интерес к переносу во взвешенном состоянии органического вещества, к изменчивости биогеохимических и молекулярных характеристик последнего, требует детального и всестороннего изучения стока взвешенных наносов. В результате, стандартные гидрометрические приемы не могут соответствовать современным требованиям. Прямой (весовой) метод в том виде, в котором он описан в "Методических рекомендациях..." (2002), не удовлетворяет требованиям к чистоте образцов взвеси; невозможно использовать также и получающийся фильтрат.

В этом смысле большим достижением автора работы является привлечение большого объема материала, собственного и заимствованного, для анализа применимости различных современных методов определения мутности воды, в первую очередь косвенных. Автором получены региональные калибровочные зависимости для пересчета оптической мутности в весовую – основной инструмент для региональных расчетов, первичных оценок весовой мутности на слабоизученных реках или в труднодоступных районах, при проведении разовых гидрометрических работ. Для створов, в которых известна временная динамика коэффициентов калибровочной кривой, последняя – базовый метод определения характеристик стока наносов при долгосрочном мониторинге, могущий полностью заменить прямой метод. Автором установлено, что для большинства исследованных рек России и Монголии калибровочная кривая соответствует уравнению линейной регрессии. Показано также, что угол наклона кривой определяется

содержанием во взвеси песчаных частиц, или крупностью наносов (Рис. 3.19, с. 93), что легко объяснить теоретически, изменением соотношения размера частиц и длины световой волны, излучаемой лампой нефелометра и наличием границы между областями действия законов рассеяния Ламберта-Бэра (т.н. рэлеевское рассеяние) и Френеля. Более крупные частицы, практически не рассеивающие свет, имеют намного большую плотность, вследствие чего весовая мутность в относительно прозрачных пробах оказывается всё же значительной.

В рамках исследований применимости дистанционного метода автором предложена методика определения мутности воды по интенсивности отраженного светового потока на верхней границе атмосферы (TOA reflectance) в ближнем инфракрасном диапазоне. Соответствующие уравнения для бассейна р. Селенги имеют линейный вид. Погрешность методики для паводочного периода (34%) находится в допустимых пределах: до 50%, по Карапашеву и др. (1977). Разработанная методика позволила рассмотреть характер распределения мутности в узлах слияния нескольких рек бассейна р. Селенги, и определить протяженность зоны смешения в различные фазы водного режима.

Масштабные исследования в крупной незарегулированной речной системе (Орхон-Селенга) позволили установить характер продольного распределения мутности как по длине основного русла, так и на малых реках, в том числе в условиях активного развития дражных промыслов. В первом случае удалось установить различия в продольном распределении мутности в разные фазы водного режима – от истока к устью она увеличивается в межень и снижается в период паводков. Для второго случая (случай точечного поступления в поток консервативной примеси) из анализа теории получено уравнение, позволяющее оценить снижение мутности на беспри точном участке.

Как это бывает обычно при полевых исследованиях мутности воды, получаемый материал велик по объему, очень разнороден и с трудом поддается обобщению, с трудом вписывается в традиционные пространственно-временные масштабы исследований. По этой причине некоторые части работы выполнены в стиле «лоскутный крой». Помимо крупных и важных результатов, работа содержит много разнородных выводов и второстепенных заключений, многие из которых недостаточно обоснованы теоретически. Это касается связи свободного члена уравнения с максимальной мутностью (уравнение 3.20) Что такое в этом случае

максимальная мутность, и как она связана с максимальной оптической мутностью? Почему не использовать эту последнюю, чтобы избежать (возможной) функциональной связи между коэффициентом уравнения и зависимой переменной? Это касается связи между мутностью воды и интенсивностью осадконакопления (рис. 4.7). Насколько хорошо будут выглядеть те же самые связи, если масштаб графиков изменить с логарифмического на линейный? Не будут ли такие степенные графики убывать с увеличением мутности? Это касается характера изменения мутности по длине малых рек нижнего Поволжья (рис. 5.16). Каков характер размываемых берегов р. Кондурча (пойменные, террасовые) и вследствие чего продукты их размыва аккумулируются в пределах следующих 29 км протяженности русла? Может ли это быть связано в данном случае с изменением типа русла, и если да, то как именно? Каждый из перечисленных результатов, и многие не перечисленные выше, можно довести до более высокого уровня научного описания, на котором находится работа в целом, если более вдумчиво относиться к интерпретации имеющихся полевых данных.

В работе рассмотрены существующие методы определения мутности воды, которые в дальнейшем использованы для обоснования защищаемых автором положений. С этой точки зрения нужно отметить, что детальность описания большинства методов недостаточна для их воспроизведения на практике; также встречаются мелкие фактические неточности. В разделе 3.1 «Весовая мутность»: а) указано, что бумажные фильтры имеют поры некоторого размера (с. 61), хотя это не так; б) при использовании мембранных фильтров некоторое количество частиц застrevает в порах, и с трудом извлекаются оттуда, что влияет на последующее определение грансостава (там же); в) при предварительной сушке мембранных фильтров при 105°C края некоторых пор оплавляются, что меняет их диаметр (с. 62); не указано, в каком диапазоне температур производится сушка фильтров с наносами (там же).

В разделе 3.4 «Дистанционный метод» основные спектральные показатели снимков называются где как: L_λ (radiance) – спектральная яркость, коэффициент спектральной яркости (с. 70), яркость (с. 74); ρ^* (top-of-atmosphere reflectance) – коэффициент отражения (с. 75, с. 77), рассеянная отражательная способность (с. 75). Известно, что оба показателя определяются пересчетом из относительного цифрового показателя яркости DN (digital number) по формулам, коэффициенты которых приведены в документации к конкретным космическим аппаратам. Поэтому в качестве

методической поддержки собственных результатов было бы правильно привести эти коэффициенты либо формулы для обоих аппаратов (FORMOSAT и SPOT) и использованного спектрального канала. Из формул было бы видно, что для пересчета из DN в ρ^* используется возвышение Солнца, которое меняется в процессе съемки, и неодинаково для разных частей снимка; в работе не указано, вводилась ли соответствующая поправка. Неясно, как учитывалось влияние мелководных участков русла (галечных отмелей), «накладывающееся» на естественную мутность воды, хотя эта проблема в работе обозначена.

В разделе 3.5 «Оптический метод» не стоило бы приводить уравнение 3.19, объединяющее «все имеющиеся данные по рекам России», поскольку следующее за уравнением предложение содержит крупную оговорку, которая обессмысливает фиксацию конкретных «общероссийских» коэффициентов. Имело бы смысл привести график, соответствующий этому уравнению, со всеми использованными в анализе данными, и график «предиктор-погрешность» в нескольких диапазонах оптической мутности, чтобы получить представление о характере погрешностей данной модели.

Соотношение между полученными величинами мутности летне-осеннего периода и средними за многолетье во многом определяется расходами воды, при которых были получены обе эти оценки. Учет расходов воды позволяет объяснить отличия полученных в 2011-2013 гг. результатов от среднемноголетних. Рассматривая данные **табл. 5.1** (стр. 131) и **табл. 2.1** (стр. 47), легко показать, что в некоторых случаях расход паводочного периода 2011 г. намного превышает среднемноголетний (р. Орхон выше устья р. Туул и в устье, р. Уда в устье, р. Селенга в Наушках). В устье р. Уды при этом паводочная мутность выше среднемноголетней. В других случаях меньшее значение мутности может определяться эффектом разбавления; действительно, суточный объем стока наносов в перечисленных створах во время летних паводков сопоставим со среднемноголетним или превышает его. Следовательно, эрозионная активность в этих водосборах, вопреки утверждению автора, в паводочный период ничуть не меньше, чем в период половодья.

Следует также всегда учитывать, что количественные показатели стока наносов (мутность, объем стока) могут изменяться как в пределах одного эрозионного события (эффект «гистерезиса»), так и в многолетнем разрезе вне очевидной связи с расходами воды. По этой причине прямое сравнение

точечных наблюдений с осредненными за некоторый период (с. 130) нужно делать аккуратно. Аккуратность также позволила бы избежать ошибок в упомянутых таблицах: р. Хараа в устье, среднегодовой расход 1000 м³/с; р. Селенга в устье, данные об объеме стока наносов за 2011-2013 гг. из **табл. 5.1** не соответствуют значениям расхода из **табл. 2.1**. Опечатки и неточности присутствуют и в других таблицах (табл. 2.2 и ее соответствие табл. 5.5; табл. 3.2; табл. 3.6 и ее соответствие рис. 3.20).

Изложенный материал оставляет место для нескольких вопросов, в первую очередь касающихся методической части работы:

1. Какая доля погрешности в определении весовой мутности связана с (возможным) присутствием в потоке крупных органических остатков (листьев, игл, семян и стеблей растений)? Были ли такие случаи в практике соискателя? Следует ли удалять такие остатки с фильтра перед взвешиванием, или следует считать их органической составляющей взвеси?
2. В каких пределах технические характеристики турбидиметров (длина волны источника света, характер расположения датчиков) могут влиять на значения коэффициентов калибровочных зависимостей? Сопоставимы ли между собой результаты, получаемые разными типами турбидиметров?
3. По какому принципу можно осуществлять выбор между той или иной моделью распределения мутности воды по глубине - для рассмотренного в работе случая р. Мезень, либо для любого другого произвольно выбранного?
4. Может ли происходить движение воды в цилиндрах седиментационных ловушек при их подъеме со дна водотока? Если да, то может ли оно повлиять на "вымывание" из цилиндров части мелких наносов?

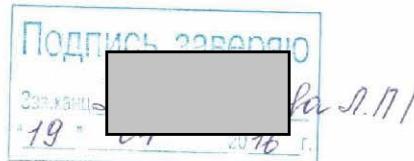
Полученные результаты перспективны с точки зрения продолжения исследований в нескольких направлениях. С точки зрения развития методической части, это в первую очередь участие в разработке стандартных протоколов определения весовой и оптической мутности для целей научных исследований (исходя из того, что национальные сетевые стандарты изменятся нескоро); оценка сопоставимости определений весовой мутности с помощью бумажных, целлюлозных и стекловолоконных фильтров. С точки зрения теории движения наносов, перспективным представляется совместный анализ частных (фракционных) значений весовой мутности и транспортирующей способности потока. Современная приборная база позволяет намного точнее, чем раньше, определять фракционный состав взвесей, и многие установленные ранее закономерности можно уточнить или пересмотреть.

Результаты обладают существенной новизной, получены с помощью современных методов, и с хорошей степенью детальности изложены в автореферате, полностью отражающем существо работы в целом. Основные выводы, подкрепляющие защищаемые положения диссертации, прошли достаточную аprobацию: по материалам исследований опубликовано 26 работ, в том числе 3 работы в ведущих рецензируемых журналах, входящих в международные системы цитирования; результаты представлены на нескольких всероссийских и международных конференциях. Сискателем представлена к защите успешно выполненная научно-квалификационная работа, которая удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Промахова Е.В. заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Тананаев Никита Иванович
ведущий научный сотрудник
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
кандидат географических наук



19/04/2016



Официальный оппонент: Тананаев Никита Иванович
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН
Адрес: Российская Федерация, 677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск,
ул. Мерзлотная, дом 36
Сайт: <http://mpi.ysn.ru>
Эл. почта: mpi@ysn.ru