

*На правах рукописи*

ШАМОВ Владимир Владимирович

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЛАГООБОРОТА  
В ГЕОСИСТЕМАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора географических наук

Владивосток – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском институте географии Дальневосточного отделения Российской академии наук

**Научный консультант:**

**Гарцман Борис Ильич**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии речных бассейнов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт водных проблем РАН

**Официальные оппоненты:**

**Коронкевич Николай Иванович**, доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией гидрологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт географии РАН

**Обязов Валерий Афанасьевич**, доктор географических наук, технический директор научно-производственного объединения "Гидротехпроект"

**Федоровский Александр Сергеевич**, доктор географических наук, профессор, начальник управления организации научных исследований Президиума Дальневосточного отделения РАН, заместитель главного ученого секретаря Дальневосточного отделения РАН

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии им В.Б. Сошалева СО РАН (г. Иркутск)

Защита состоится 15 ноября 2018 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 005.016.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Тихоокеанском институте географии ДВО РАН по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТИГ ДВО РАН и на сайте <http://www.tigdvo.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба присылать по адресу: 690041, г. Владивосток, ул. Радио д. 7, ученому секретарю диссертационного совета, e-mail: [dissovettig@yandex.ru](mailto:dissovettig@yandex.ru), факс: 8(423)231-21-59.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета, к.г.н.

Ткаченко Григорий Геннадьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Адаптивные стратегии и технологии природопользования всё более востребованы в жизнеобеспечении человека в меняющейся среде его обитания. Среда обитания сильно неоднородна и может быть представлена в виде иерархии геосистем, в данном контексте выступающих как природно-ресурсные системы различного масштаба (Геосистемы Дальнего Востока..., 2010). Сильным интегрирующим агентом геосистем выступает вода, а точнее водные циклы, которые генетически связаны и обуславливают другие природные циклы – геохимические, эрозийные, биотические, а также субъектные циклы – производственные, социальные, экономические. В связи с этим одной из фундаментальных проблем представляется проблема адаптации ритмов жизнедеятельности социальных групп и территориально-хозяйственных структур в Дальневосточном регионе к пространственно-временной организации круговорота воды в геосистемах на глобальном, региональном и локальном уровнях.

Существует также необходимость совершенствования методов и средств исследования закономерностей влагооборота в геосистемах, в том числе в тех, которые подвержены антропогенным преобразованиям. Модели геосистем, рассматриваемых с позиций приповерхностного влагооборота, должны быть концептуальными, дающими с учетом содержательного анализа объективную основу для их развития в реально полезный инструментарий для ресурсного планирования и инженерной практики. Можно рассчитывать на новые значимые результаты, используя типы моделей водного цикла с такими свойствами, как нестационарность, сильная нелинейность, масштабная инвариантность, дискретность, ландшафтная обусловленность и т.д. Учет этих свойств необходим для оценки природных ресурсов и научного обоснования их использования в рамках сформировавшейся в последние десятилетия целостной "бассейновой теории"/"бассейновой концепции", в первую очередь охватывающей многообразие процессов формирования стока в геосистемах – наиболее ценного для человека водного ресурса – в аспектах его количества и качества.

**Связь работы с научными программами, темами НИР, планами.** Исследования выполнялись по научным темам Института водных и экологических проблем ДВО РАН с номерами госрегистрации 01.9.40006332, 01.9.60012180, 01.200.1 17937 и научной теме Тихоокеанского института географии ДВО РАН с номером госрегистрации 01.200.93917. Работа вносит определенный вклад в решение задач Федеральной Государственной программы «Чистая вода» (2009–2017 гг.), предполагающей модернизацию водохозяйственного сектора России.

**Цель** данной работы – выявление закономерностей пространственно-временной организации влагооборота в геосистемах и их применение для обоснования адаптивных стратегий и методов оптимального (неистощительного) хозяйственного использования водных и земельных ресурсов.

Для достижения поставленной цели автором решались следующие **задачи**:

- 1) разработать систему типов структурных моделей влагооборота в условиях различной влаго- и теплообеспеченности геосистем;
- 2) показать наличие тесной связи характерных временных и пространственных масштабов влагооборота в геосистемах, в том числе в формировании экстремальных дождевых паводков на больших территориях, в механизмах реакции гидросферы на происходящие изменения климата, в резком росте выноса растворенных веществ на крупных реках системы Амура в 1990-х гг.;
- 3) определить критерии образования озерных геосистем в долинах больших рек в условиях направленной долинной аккумуляции;
- 4) выявить условия устойчивости торфяно-болотных ландшафтов муссонной области в условиях их интенсивного сельскохозяйственного освоения.

**Объектами** исследований являются речные бассейны, озерные и болотные геосистемы, расположенные преимущественно на Дальнем Востоке России. В основу настоящей работы положены результаты многолетнего (1984–2017) изучения водного режима, водного баланса и ландшафтно-гидрологических характеристик естественных и преобразованных человеком болот, озёрных геосистем и речных бассейнов Дальнего Востока, а также предшествующие исследования.

Главной сквозной **научной идеей** работы выступает понятие инварианта, или инвариантно-генетической последовательности (термин по И.Н. Гарцману, 1976), вытекающее из последовательного применения общефизического принципа симметрии в области исследований водных циклов в природных геосистемах. Регулярные, устойчивые, объективные связи между различными явлениями можно отобразить в виде специфических инвариантов, поиск которых в географии – дело необходимое и перспективное (Сочава, 1978).

**Методологической основой** работы является системный подход, развитию которого способствовали идеи и исследования В.В. Докучаева, В.И. Вернадского, В.Б. Сочавы, И.Н. Гарцмана, Н.И. Коронкевича, И.В. Крутя, А.Ф. Мандыча, Л.М. Корытного, А.Н. Антипова, В.Н. Федорова, А.П. Левича, Б.И. Гарцмана, M. Sivapalan, C.J. Dooge, S. Uhlenbrook, J.J. McDonnel и др.

Автор также руководствовался принципами: феноменологическим, симметрии, локальности, эргодичности/актуализма, применение которых, в свою очередь, обосновано в настоящей работе. В диссертации также отражено использование математических, картографических и др. стандартных методов, а также трассерного метода.

**Научная новизна.** Автором впервые формулируется и решается проблема дискретности и нелинейности явлений влагооборота на основе исследования пространственной структуры и динамики водных циклов в геосистемах суши.

Такое решение впервые последовательно реализовано в форме:

- выявления специфических пространственных и временных масштабов

явлений круговорота воды в геосистемах суши;

- построения системы типовых концептуальных моделей влагооборота на суше в широком диапазоне природных условий и масштабов;
- теоретического обоснования бассейновой структуры поверхности суши;
- выявления ряда пороговых констант, именно: климатически обусловленной скорости континентального влагооборота, озероформирующей интенсивности осадконакопления в условиях направленной долинной аккумуляции, ресурсосберегающей интенсивности антропогенной эрозии торфяных почв в зоне муссонного климата.

Автором разработаны: концепция климатически обусловленных химических паводков в бассейнах больших рек на границе криолитозоны; концептуальная модель гидроэкологических последствий изменений глобального климата; ландшафтно-генетическая типизация озер в долинах больших рек с оценкой качества озёрных минеральных ресурсов; ландшафтно-генетическая типизация мелкозалежных торфяных болот в зоне муссонного климата, подверженных интенсивному сельскохозяйственному освоению, с оценкой их устойчивости.

Исследованиям автора по ряду направлений данной работы была оказана финансовая поддержка со стороны: Международного Фонда К. и Дж. Макартуров (1995-1996), Российской Федеральной целевой программы «Интеграция» (1998-2000), РФФИ (1998, 2003-2005, 2006-2007, 2008, 2010, 2011-2013, 2014-2016, 2016-2018), Правительства Хабаровского края совместно с РФФИ (2001-2002), Австрийского фонда научных обменов (2006-2007), Института исследований человечества и природы (Япония, 2006-2010), Дальневосточного отделения РАН (2003, 2004-2008, 2011, 2012-2014), комплексной научно-исследовательской программы "Дальний Восток" (2015-2017; 2018-2020).

Практическая значимость исследований заключается в обосновании и развитии классификационных и расчетных методов применительно к конкретным природным объектам, в методическом обеспечении оценки ресурсов озер Нижнего Амура, рекомендаций по минимизации воздействий строящихся и эксплуатируемых производственных объектов на природную среду, а также в области сельскохозяйственного использования торфяно-болотных ландшафтов. Результаты автора использованы в научных отчетах, рекомендациях, справках и пояснительных записках Института водных и экологических проблем ДВО РАН и Тихоокеанского института географии ДВО РАН, направленных в Президиум ДВО РАН, а также в руководящие, плановые, проектные, научно-исследовательские учреждения (Правительство Хабаровского края, ДальНИИ гидротехники и мелиорации, Институт горного дела ДВО РАН, Амурское бассейновое водное управление, Амурское бассейновое управление пути, ДальГИПРОтранс, ОАО «Российский экологический альянс», Амур-Охотский Международный Консорциум, Институт исследований человечества и природы), в хозяйствующие субъекты региона.

Личный вклад автора. Основные результаты получены автором лично в процессе работы по плановым и инициативным темам НИР в ИВЭП ДВО РАН (1984–2009 гг.) и в ТИГ ДВО РАН (2010–2017 гг.). Исследования процессов стокоформирования и разработка системной концепции моделирования влагооборота в масштабе малого речного бассейна и склона проводились совместно с д.г.н. Б.И. Гарцманом, к.г.н. Т.С. Губаревой, к.г.н. А.Г. Болдескул, к.б.н. Н.К. Кожевниковой, к.г.н. Т.Н. Луценко, С.Ю. Лупаковым, Е.А. Шекманом, к.г.н. А.М. Тарбеевой. В работе использованы материалы, полученные автором при проведении комплексных и гидрологических экспедиционных и стационарных исследований совместно с коллегами из ИВЭП и ТИГ ДВО РАН, а также с японскими коллегами – Т. Ониши (Onishi) и М. Ё (Yoh).

Апробация работы. Основные положения работы и их следствия докладывались на 34-х международных, всероссийских и региональных симпозиумах, конференциях, совещаниях, проведённых в СССР и России, на рабочих совещаниях и семинарах в ряде организаций РАН, ДВ УГМС, Министерства образования и науки РФ, Министерства природных ресурсов РФ, Правительства Хабаровского края, а также в Институте исследований человечества и природы (г. Киото, Япония), в Университете Саппоро (Япония), в Вегенеровском центре изменений климата и природной среды (г. Грац, Австрия), в Дельфтском техническом университете (Нидерланды).

Теоретические положения и результаты их развития опубликованы более чем в 120 публикациях, в том числе в трех коллективных и одной авторской монографиях, общим объемом более 40 п.л.

Объем и структура работы. Диссертация имеет объем 300 страниц и состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 584 наименований и трёх приложений.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫНЕСЕННЫЕ НА ЗАЩИТУ

Предмет защиты – типы структурных моделей влагооборота на суше, а также теоретические положения и расчетные схемы, основанные на применении закономерностей пространственно-временной организации круговорота воды при хозяйственном использовании геосистем.

**1. Взаимосвязь между функциональной и пространственно-временной структурами приповерхностного влагооборота в геосистемах обеспечивает объективное основание для типизации структурно-функциональных моделей водного цикла с учетом различной влаго- и теплообеспеченности геосистем.**

**2. Взаимообусловленность специфических пространственных и временных масштабов влагооборота в ландшафтной оболочке выступает критерием иерархической суббассейновой и бассейновой организации стока,**

которая включает малые, средние и большие речные бассейны, различающиеся по структуре и основному процессу.

**3. При избыточном увлажнении территории отмечается существенное возрастание характерных пространственно-временных масштабов процессов регионального и локального влагооборота по отношению к масштабам унаследованных природных и природохозяйственных систем.**

**4. Соотношение скорости устойчивой аллювиальной аккумуляции в долинах больших рек и скорости осадконакопления в их припойменных озерах определяет генезис, морфогенетическую дифференциацию и условия формирования минеральных ресурсов озерных геосистем.**

**5. Соотношение скорости аккумуляции торфа в торфяно-болотных геосистемах и скорости его сработки при сельскохозяйственном освоении является критерием неистощительного использования торфяных болот.**

## СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Глава 1. Геоэкологическая функция влагооборота.

Приводится краткая оценка определяющей роли влагооборота в биосфере. Подавляющая часть миграционных вещественных потоков в геосистемах, функционирование экосистем, биотические и биогеохимические циклы с необходимостью связаны с водными циклами и потоками воды в различных ее агрегатных состояниях. Влагооборот в геосистемах тесно связан с энергетическими процессами и определяется режимом притока тепла от Солнца и земных недр.

Многими авторами доказывается, что потоки влаги обеспечивают единство, внутреннюю взаимосвязь географической оболочки. Это единство может быть выражено в виде некоего инварианта данной оболочки, что позволяет разрабатывать инвариантные типологии – сопряженные / гомоморфные инвариантно-генетические последовательности форм организации вещественных масс – воды, геологических тел, подстилающих поверхностей, биоты, почвенных тел, воздушных масс, структур расселения людей и др.

Инвариантно-генетические последовательности, отражающие структуру и генезис природных циклов, являются иерархическими конструктами – системами уровней организации. Каждому из них присущи специфические пространственные и временные масштабы характерной динамики. Такое представление круговорота веществ позволяет рассматривать проблемы природопользования (в первую очередь дефицита и ограниченности природных ресурсов на данной территории) через призму адаптивных технологий. С учетом того, что указанные проблемы отражают противоречия между социумами, в рамках адаптивной концепции автором уточняются категории устойчивости и устойчивого развития природохозяйственных систем и сформулировано понятие этики природопользования, базирующееся на соотношении пространственных и временных масштабов природных процессов и хозяйственных структур.

В этом же разделе на основе анализа физических преобразований водных масс автором предложена достаточно простая дихотомическая типизация опасных гидрологических явлений, угрозы которых прямо или косвенно связаны с несоблюдением естественных пределов природопользования (табл. 1).

Таблица 1

Дихотомическая типизация опасных гидрологических явлений

Агрегатные типы	Водные явления		Ледовые явления	
Избыток или недостаток воды / тепла	Высокая водность	Низкая водность	Многолетние ледовые образования	Сезонные ледовые образования
Типы опасных явлений	Наводнения	Обмеление водоемов	Многолетняя, сезонная, синоптическая, суточная динамика таяния ледников и снежников	Сезонные ледовые явления
	Переувлажнение почвы	Иссушение почвы		Лавины
	Заболачивание	Опустынивание		Снеготаяние
Основные причины	Сильная асимметрия фазовых переходов <вода – пар>		Сильная асимметрия фазовых переходов <вода – лёд>	

## Глава 2. Структура и динамика влагооборота в геосистемах.

Метод водного баланса (ВБ) широко признается, по сути, единственным сравнительно надежным способом исследования влагооборота в геосистемах. При расчете приходных и расходных составляющих ВБ границы области пространственного и временного замыкания ВБ задаются, как правило, произвольно, либо в соответствии с общефизическим принципом экстремальности, то есть в местах и в моменты наименьшей интенсивности потоков влаги. В рамках геосистемной концепции произвольность в задании граничных условий, в частности, означает, что 1) объект выделяется не независимо от его ведущего процесса (основной функции), либо 2) исследуемая функция морфологически определенного объекта не совпадает с его основной функцией.

Объектом здесь является любая геосистема с точки зрения влагооборота. Под основной функцией (ведущим процессом) объекта подразумевается такой процесс, который определяет формирование ведущего элемента объекта и тем самым задает представление объекта в виде развивающейся относительной целостности. Классическим примером такого объекта является малый речной бассейн (МРБ), основная функция которого – формирование стока в замыкающем створе, а сам объект рассматривается как преимущественно стокоформирующий.

Виды нарушения эквивалентности функциональной и пространственно-временной структур заданного объекта специально рассмотрены нами в диссертации. Совокупность вариантов соотношений функциональной и пространствен-

но-временной структур объекта-системы определяет его пространственно-временную организацию.

Системное представление природного объекта предполагает выявление его генетических, структурных и иерархических связей. Внешне иерархически устроенный объект проявляется через морфологически выраженную неоднородность, обусловленную генезисом его как целостности. Инвариант геосистемы – наиболее общий закон ее развития и функционирования, способа существования – отображение последовательностей смен ее состояний в процессе развития и функционирования, субординации ее внутренних и внешних отношений. Следовательно, инвариант сам представляет собой последовательность.

Инвариантный подход в географии, согласно акад. В.Б. Сочава, позволяет упорядочить представление о многих изменчивых географических явлениях и, опираясь на теорию симметрии, дать их математическое описание. Понятие инварианта выступает как весьма эффективное методологическое средство, раскрывающее существенные стороны единства логического и исторического методов познания, теоретического и историко-генетического способов описания объекта. Инвариант геосистемы как ее общий закон только и может быть познан в единстве логического и исторического подходов. Особое значение приобретает научное познание высшего этапа в развитии системы, где в снятом, преобразованном виде включена вся история объекта. К примеру, исследование формирования речного стока как высшей формы организации водных масс в системе <водные массы – тропосфера – зона выветривания> учитывает процессы, протекающие в структурно и генетически предшествующих звеньях влагооборота (Клиге, 1980).

В таблице 2 приведена матрица «Водные массы на суше» – совокупность конкретных ИГП водных масс в различных (как примеры) вмещающих средах: тропосфере, зоне выветривания, малом речном бассейне. Примечательным является то, что в каждой приведенной системе (столбцы таблицы) уровни организации водных масс (строки таблицы) индицируются своими критериями – пороговыми константами. В системе <водные массы – МРБ> уровни от 1-го до 7-го можно определить известными емкостными почвенно-гидрофизическими константами (Роде, 1951; Воронин, 1984, и др.), которые разделяют формы организации почвенно-грунтовых вод.

В масштабах склонов и речных бассейнов включается суммарная максимальная ёмкость микропонижений и водопроводящих трещин, ёмкостью временной русловой (ложбинно-овражной) сети с дренируемой ею почвенно-грунтовой толщей, ёмкостью постоянной русловой сети с дренируемой ею зоной выветривания. Перечисленные ёмкостные свойства отнесены ко всему объекту, то есть являются *интегральными*, что позволяет оперировать «точечными» моделями. Модели с распределенными параметрами учитывают то, что каждой точке конкретного пространства соответствуют локальные свойства, в общем случае отли-

Матрица «Водные массы на суше»

Уровни	ИГП состояний (форм организации) водных масс	Система <водные массы – тропосфера>	Система <водные массы – зона выветривания>	Система <водные массы – тропосфера – зона выветривания>	Система <водные массы – малый речной бассейн>
g <sub>1</sub>	Парообмен	Отсутствие видимых следов влаги в тропосфере	Мономолекулярная влага	Конвекция, адвекция водяного пара	Воздушно-сухое состояние
g <sub>2</sub>	Эфемерный парокapельный обмен	Конденсат (роса, иней) облака <i>Ci, Cc</i>	Полиомолекулярная влага	Конденсация водяного пара	Состояние максимальной гигроскопичности
g <sub>3</sub>	Регулярный парокapельный обмен	Следы влаги в пограничных слоях (радиационный туман, иглы) облака <i>Cs</i>	Пленочная и пленочно-стыковая влага	Выпадение осадков	Максимальная молекулярная влагоёмкость
g <sub>4</sub>	Эфемерное переувлажнение	Адвективный туман облака <i>Ac</i> (полосы падения)	Разрывно-капиллярная влага	Поверхностное стокообразование	Пленочно-капиллярная влагоёмкость
g <sub>5</sub>	Регулярное переувлажнение	Облака <i>As, Sc</i> (летом осадки не достигают поверхности земли)	Подвешенно-капиллярная влага	Внутриобъемное стокообразование	Наименьшая влагоёмкость
g <sub>6</sub>	Эфемерное мигрирование избыточн. влаги	Облака <i>Sc op., Ci</i> (капли дождя, непродолжительные осадки)	Подперто-капиллярная влага <b>Болото</b>	Истощение слоя стокообразования	Появление форм гравитационной влаги
g <sub>7</sub>	Регулярная концентрация мигрирующей влаги	Облака <i>St</i> (морось летом, слабый снег зимой)	Подперто-гравитационная влага <b>Озеро</b>	Квантование слоя стокообразования в микропонижениях	Развитие зоны насыщения при среднем увлажнении
g <sub>8</sub>	Эфемерный сброс избыточн. влаги	Облака <i>Cb</i> (ливневые осадки)	Временный водоток <b>Лог, овраг</b>	Временные ручейковые потоки	Состояние полной влагоёмкости
g <sub>9</sub>	Регулярный сброс избыточн. влаги	Облака <i>Ns</i> (обложные осадки)	Постоянный водоток <b>Речной бассейн</b>	Постоянные речные потоки	Заполнение миропонижений на поверхности

Эквивалентность функциональной и пространственно-временной структур геосистем, рассматриваемых с точки зрения влагооборота, обозначена нами как *внутренняя симметрия влагооборота*. Вызванное достаточно сильным возмуще-

нием внешней среды нарушение этой симметрии, или появление дисимметрии, «творит явление» (Кюри, 1966), т.е. порождает движение системы, ее морфогенез.

В главах 5 – 7 диссертации сформулированы ИГП ряда конкретных геосистем, рассматриваемых точки зрения влагооборота.

Если сток выступает высшей формой организации влагооборота на суше, а его формирование происходит преимущественно в рамках МРБ, то последний выступает как «конечный», высший элемент ландшафтно-гидрологической организации земной поверхности. В ландшафтах, приуроченных к областям избыточного и достаточного увлажнения и хорошо расчлененной поверхности, как правило, образуются влагозапасы, достаточные для формирования постоянного стока с *минимально* необходимой для этого площади. Исходя из принципа экстремальности, именно лесные ландшафты взяты за основу построения системы типов влагооборота в геосистемах. Группы зон-аналогов (Черкашин, 2005) в свою очередь для упрощения объединены в три над-группы, формирующие ряд: лес – степь (тундра, саванна) – пустыня. Повышение разнообразия таксономических единиц предлагаемых конструкций за счет увеличения числа зон-аналогов, с одной стороны, и числа форм влагооборота, с другой, представляется группой самостоятельных задач и выходят за рамки данной работы.

С учетом матрицы «Водные массы» (табл. 2) в диссертации систематически анализируются наиболее характерные объекты, типы моделей которых выступают как элементы двух матриц –  $M_{cf}^-$  (табл. 3) и  $M_{cf}^+$  (табл. 4), представляющих собой обобщенные структурные модели влагооборота в геосистемах.

1. Стокоформирование в условиях полного насыщения МРБ подчиняется синоптическим ритмам и соответствующим им внутренним пространственным симметриям. Симметричные же им гидрометеорологические процессы при этом представляют собой формирование и деградацию в атмосфере безоблачных и облачных конвективных ячеек. Ячейки без образования облаков имеют характерные горизонтальные размеры порядка 10 км, а время «жизни» – около 4 часов. Облачные конвективные ячейки разрастаются до 80-100 км, и продолжительность их существования может исчисляться несколькими сутками (Чупрынин, 1998; Вельтишев, Геохланян, 1974). Модель объекта – «лесной МРБ».

2. Почвенный монолит (М) (*педон* (Voima et al., 2011)), рассматриваемый с точки зрения влагооборота (элемент 1 в матрицах  $M_{cf}$ ), обозначен нами как модель объекта первого рода, испытывающий динамику вблизи состояния максимальной гигроскопичности (см. табл. 2). Для водохозяйственной практики важнейшей характеристикой таких объектов является отсутствие стока и недостаток влаги. Ведущий процесс – паро-капельный обмен. Испарение происходит в условиях систематического избытка тепла, что может быть интерпретировано как избыток «атмосферной емкости», и контролируется влагонасыщенностью объекта.

Таблица 3

Типовые модели влагооборота в системе <водные массы – МРБ>  
при различной степени увлажнения в условиях недостатка тепла ( $M_{сф}$ )

Зональный (климатический) ведущий процесс в геосистеме  Локальный ведущий процесс в системе	<b>Паро-капельный обмен</b> (пустыни высоких широт)	<b>Эвапотранспирация</b> (тундра, лесотундра)	<b>Сток</b> (бореальные леса)
<b>Паро-капельный обмен</b>	<b>Почвенный монолит (М)</b> (педон) <u>Время:</u> десятки мин (>> 1 с) <u>Расстояние:</u> м ÷ первые десятки м (>> 1 см) нормально (1)	<b>Влажный М</b> (болотный микроландшафт) <u>Время:</u> сек ÷ десятки сек <u>Расстояние:</u> мм ÷ см влажно (2)	<b>Теплая пленка</b> (переход к холодному водоему) <u>Время:</u> миллисек (<< 1 с) <u>Расстояние:</u> мкм (<< 1 см) очень влажно (3)
<b>Эвапотранспирация</b>	<b>Тундровый С</b> <u>Время:</u> несколько сут ÷ первые десятки сут (>> 1 сут) <u>Расстояние:</u> первые тысячи м (>> 500 м) сухо (4)	<b>Склон (С)</b> <u>Время:</u> ~ 1 сут <u>Расстояние:</u> сотни м нормально (5)	<b>Болотный (пойменный) массив</b> <u>Время:</u> мин ÷ десятки мин (<< 1 сут) <u>Расстояние:</u> м ÷ десятки м (<< 500 м) влажно (6)
<b>Сток</b>	<b>Полярно-пустынный МРБ</b> <u>Время:</u> первые десятки лет (>> 1 года) <u>Расстояние:</u> сотни ÷ около тысячи км (>> 100 км) очень сухо (7)	<b>Тундровый МРБ</b> <u>Время:</u> около 1 года <u>Расстояние:</u> десятки ÷ первые сотни км сухо (8)	<b>Лесной МРБ</b> <u>Время:</u> первые десятки сут (<< 1 года) <u>Расстояние:</u> км ÷ первые десятки км (<< 100 км) нормально (9)

Фазовые переходы воды (пар – жидкость) происходят внутриобъемно в результате локального переувлажнения на паро-капельном уровне под действием значительных термических градиентов (Глобус, 1983). Влагообмен через поверхность объекта с атмосферой (испарение) существенно отличается от транспирации и испарения с капиллярной каймы в силу существенно большей энергии связи воды в тонких водных пленках. Симметричные подземным атмосферные процессы наблюдаются как образование атмосферных термиков (Андреев, Панчев, 1975).

3. Состояния геосистемы вблизи наименьшей влагоёмкости характеризуется появлением эпизодического стока. Ведущий процесс – транспирация и ее абиотические аналоги. Сток в данном случае является остаточной функцией, что отражается в суточном ходе стока малых рек в периоды летней межени. Водный

цикл описывается моделью «склон. Сток с территории, состоящей из совокупности склонов, происходит в условиях избытка русловой емкости и является простой суммой величин стока с каждого склона.

Таблица 4

Модели влагооборота в системе <водные массы – МРБ>  
при различной степени увлажнения в условиях избытка тепла ( $M_{CF}^+$ )

Зональный (климатический) ведущий процесс в геосистеме  Локальный ведущий процесс в геосистеме	<b>Паро-капельный обмен</b> (пустыни низких широт)	<b>Эвапотранспирация</b> (степи, саванны)	<b>Сток</b> (леса низких широт)
<b>Паро-капельный обмен</b>	<b>Почвенный монолит (M)</b> («гидропедон») <u>Время:</u> десятки мин (>> 1 с) <u>Расстояние:</u> м ÷ первые десятки м (>> 1 см) нормально (1)	<b>Влажный M</b> (прирусловой микроландшафт) <u>Время:</u> сек ÷ десятки сек <u>Расстояние:</u> мм ÷ см влажно (2)	<b>Холодная плёнка</b> (переход к тёплому водоёму) <u>Время:</u> миллисек (<< 1 с) (?) <u>Расстояние:</u> мкм (<< 1 см) очень влажно (3)
<b>Эвапотранспирация</b>	<b>Степной склон</b> <u>Время:</u> несколько сут ÷ первые десятки сут (>> 1 сут) <u>Расстояние:</u> первые тысячи м (>> 500 м) сухо (4)	<b>Склон</b> <u>Время:</u> около 1 суток <u>Расстояние:</u> сотни м нормально (5)	<b>Пойменный массив</b> <u>Время:</u> мин ÷ десятки мин (<< 1 сут) <u>Расстояние:</u> м ÷ десятки м (<< 500 м) влажно (6)
<b>Сток</b>	<b>Пустынный МРБ</b> <u>Время:</u> первые десятки лет (>> 1 г) <u>Расстояние:</u> сотни ÷ около 1 тысячи км (>> 100 км) очень сухо (7)	<b>Степной МРБ</b> <u>Время:</u> около 1 года <u>Расстояние:</u> десятки ÷ первые сотни км сухо (8)	<b>Лесной МРБ</b> <u>Время:</u> первые десятки суток (<< 1 г) <u>Расстояние:</u> км ÷ первые десятки км (<< 100 км) нормально (9)

4. Повышенное сезонное увлажнение степных (тундровых) ландшафтов, вызванное сезонными дождями (протаиванием мерзлоты), обуславливает появление временного стока. МРБ в области недостаточного увлажнения, которая характеризуется ведущим процессом эвапотранспирацией, моделируется как «степной МРБ» или «тундровый МРБ» (элемент 8 в табл. 3 и 4). Такой объект испытывает сезонную динамику (годовые циклы). В приполярной области характерным является сезонный режим инсоляции (полярные дни и ночи), а, следовательно, притока тепла, лимитирующего запас талого стока. Поверхность, достаточная для

формирования запаса сезонного стока в области недостаточного увлажнения, исчисляется линейными размерами в десятки – первые сотни километров. Косвенное свидетельство этого в зоне распространения многолетней мерзлоты – ежегодное перемерзание рек с большими водосборами (например, (Любимов, 1980)).

Интразональные ландшафты, соответствующие описанным выше зональным, представляют собой горизонтальные или слабоклоненные заболоченные пространства, приуроченные к долинным расширениям крупных рек. Избыток воды в них обуславливает сток, динамика которого в среднем имеет выраженный годовой ход, отражающий сезонный режим питания этих объектов. Водосборы таких объектов простираются на десятки – первые сотни километров.

5. Модель «пустынный склон» описывает объект, характеризуемый эвапотранспирацией как временной (эффемерной) функцией. Данный объект испытывает сильнейший климатический вододефицит в связи с переизбытком или острым недостатком тепла и «разрывающего» единый процесс паро-капельного обмена на два самостоятельных – атмосферный и подземный. Это дает основание в периоды сильных засух анализировать отдельно паро-капельный обмен в системе «водные массы – атмосфера» и системе «водные массы – зона выветривания».

6. По данным Г.Л. Магакяна (1977), для степей юго-востока Европы и внутренних бассейнов Азии сильные и средние засухи наблюдаются каждые 3 и 2 года соответственно. В случае значительного иссушения (промерзания) склона в условиях степи (тундры) – до состояния вблизи максимальной гигроскопичности – область основного процесса паро-капельного обмена сужается до размеров так называемого «сухого слоя» (Дандарон, 1970; Третьяков, 1991) и его физиологических аналогов. Регулярный эвапотранспирационный поток в таких условиях может быть обеспечен существенно более широкими пространственно-временными рамками, нежели для склона в районах достаточного увлажнения. Геосистема функционирует как эвапотранспирирующий объект, подчиняющийся синоптическим ритмам и пространственной сетке с линейными интервалами, равными первым тысячам метров (модель «степной (тундровый) склон»).

7. На залесенных склонах в периоды значительного атмосферного увлажнения формируются зоны полного насыщения – области разгрузки грунтовых склоновых вод, а также временные потоки, не имеющие выраженных водосборов (Керкби, 1988). В местах регулярного переувлажнения такого рода, обусловленного близким к дневной поверхности залеганием водоупора (слабопроницаемого грунта) или зеркала грунтовых вод и снижением уклонов поверхности, что характерно для аккумулятивных склоновых шлейфов (Сохина, 1982; Махинова, 1999), формируются болотные, а с переходом к днищам речных долин – болотно-пойменные микроландшафты (элемент 6 в табл. 3). Они различаются между собой, в частности, по источникам и характеру преимущественного водного питания (паводковые, грунтовые склоновые, атмосферные воды).

8. Объект «влажный монолит» (элемент 2 матрицы  $M_{CF}$ ), вероятно, наиболее типичен для тундровой природной зоны и отвечает избыточному увлажнению, при котором эвапотранспирация контролируется дефицитом тепла. Фронт испарения выдвигается высоко в тропосферу, а в приземном 2-метровом ее слое градиенты влажности воздуха незначительны. С другой стороны, при промерзании грунта фронт испарения продвигается вглубь по мере движения фронта промерзания, формируя подвижную зону относительного иссушения толщиной 1-4 мм в зависимости от дисперсности промерзающей среды (Чистотинов, Мандаров, 1977). Текущим ведущим процессом при этом выступает паро-капельный обмен в форме термической конденсации (Лебедев, 1936). Характерным является отсутствие «сухого слоя» и соответственно 100-% насыщенность водяными парами почвенной атмосферы выше зеркала грунтовых вод.

9. В случае заполнения всех пор почвы и выклинивания свободной воды на поверхность доминирует паро-капельный влагообмен вблизи дневной поверхности при незначительных гравитационных градиентах. Температурные условия при этом контролируют потоки влаги. Расчетная область влагооборота такого объекта значительно сужается до тонкого приповерхностного слоя почвы на границе раздела с воздухом, что позволяет говорить о динамике холодной или теплой пленки. Холодная или теплая пленка, или температурный скин-слой, – это тонкий поверхностный слой воды толщиной 0,1–0,6 мм, температура которого ниже/выше температуры подстилающих вод на 0,5–1,5°C (Репина, 2000).

10. Для экстремального случая сильно иссушенного объекта (вблизи состояния максимальной гигроскопичности), моделируемого как «пустынный МРБ», основным зональным процессом выступает паро-капельный обмен, при котором охарактеризованный выше сухой слой нарастает по глубине и затем дифференцируется, то есть исчезает как целостный объект, распадаясь на микрообласти молекулярного водообмена. Обеспечение текущей стокоформирующей функции такого объекта может происходить только за счет значительного расширения пространственных границ с линейными размерами в тысячи км и за многолетние циклы водности. Это означает, что стокоформирование в таких влагодефицитных зонах явление маловероятное, приуроченное к сериям лет повышенной водности.

Данная группа типовых моделей построена на анализе отклонений текущих ведущих процессов в геосистемах от зональных (климатических) ведущих процессов и отражает естественную дифференциацию глобального влагооборота. Последняя обусловлена неравномерной инсоляцией, строением земной поверхности, пространственным распределением суши и моря – комплексом факторов гидрометеорологической доступности (Гарцман, 1971). Типизация опирается на три основные формы влагооборота (паро-капельный обмен, эвапотранспирация и сток), отвечающие соответственно группам форм организации водных масс  $g_1 - g_3, g_4 - g_6$  и  $g_7 - g_9$  (обозначения см. в табл. 2).

В силу низкой степени обводненности области арктических и антарктических пустынь (недостаток тепла) и пустынь умеренных, субтропических и тропических широт (избыток тепла) характеризуются в среднем преобладанием такой формы влагооборота, как паро-капельный обмен. Более обводненные территории, к которым следует отнести тундру (недостаток тепла), степи и саванны (избыток тепла), преимущественно испаряют влагу. В лесных ландшафтах, приуроченных к условиям достаточного/избыточного увлажнения, как правило, влагозапасы, достаточные для формирования постоянного стока, формируются на *минимально* необходимой, хорошо расчлененной территории,

Описываемая система типовых моделей отражает единство зональных и азональных факторов влагооборота. Диагональ 1 – 5 – 9 в таблице 6 характеризует среднепогодные условия увлажнения в зоне умеренного климата. Элементы 2, 6 и 3 «отвечают» за условия избыточного увлажнения (выше наименьшей влагоемкости рассматриваемого фрагмента влагонасыщенной среды), а элементы 4, 8 и 7 – соответственно за условия дефицита влаги (ниже влажности разрыва капилляров). При этом обе группы «моделей отклонения» достаточно универсальны, неспецифичны по отношению к причинам этого отклонения, то есть к тому, климатические (зональные) или геолого-геоморфологические (азональные) причины обуславливают избыток или дефицит влаги.

Например, развитие болотных массивов может происходить в пределах лесной зоны в условиях слабо дренируемых аллювиальных и озерно-аллювиальных равнин и выступать в виде интразональных ландшафтов. В то же время болотные массивы получили широкое распространение в лесотундровой и тундровой зоне, где избыточное увлажнение в основном типично в течение поллярного дня, и, таким образом, в значительной мере определяют облик этой зоны.

В лесостепной зоне наблюдается устойчивое состояние склонов, включающих такое явление как «сухой слой».

В горных и предгорных районах умеренно-климатической зоны (например, в подзоне хвойно-широколиственных лесов Приамурья и Приморья) благодаря сильно расчлененной подстилающей поверхности на склонах южной экспозиции «сухой слой» в профиле хорошо дренируемых маломощных грубоскелетных почв образуется столь регулярно, что обуславливает специфические лесные формации. Склоны северной экспозиции в данной подзоне отличаются нарастанием влажности почв вверх по склону. На днищах речных долин в горных и предгорных районах подзоны хвойно-широколиственных лесов по мере увеличения влажности и степени оглеения почв, кедрово-широколиственные типы сменяются влаголюбивой растительностью.

В условиях устойчивого неравномерного увлажнения (в частности, в зоне действия тихоокеанских муссонов на Дальнем Востоке) в долинах больших рек в низкую межень обнажаются обширные, выполненные тонкодисперсными аллю-

виальными наносами отмели, в пределах которых формируются крупные эоловые формы рельефа (Махинов, 1990), испытывающие динамику, морфологически сходную с процессами на семиаридных территориях (Тимофеев, 1979). Эти формы в бездождные периоды характеризуются наличием на их поверхности «сухого слоя», запирающего поток испаряющейся влаги. В структуре разреженного растительного покрова здесь обнаружены ксеромезофитные виды, указывающие на «остепенённость» этих пойменных биотопов (Ахтямов, 1981; Гапека, 1987).

Следует указать на принципиальную диссимметрию матриц  $M_{сф}^-$  и  $M_{сф}^+$  относительно диагонали 1 – 5 – 9. Это выражается в сравнительно резком и неравномерном, квантованном нарастании пространственно-временных интервалов замыкания ВБ в направлении от состояния «очень сухо» к состоянию «очень влажно». Пространственно-временная шкала здесь определяется уровнем насыщения влагой конкретной среды – малого речного бассейна.

### Глава 3. Дифференциация водных масс в зависимости от водонасыщения.

Случаи несоответствия пространственно-временной и функциональной структур геосистемы возникают в условиях, когда текущий уровень увлажнения не совпадает с ведущим процессом. В результате такого приема можно оперировать специфическими типовыми моделями влагооборота, которые, в свою очередь, могут представлять интерес для подробного обсуждения.

Рассмотрены характерные сочетания типичной/средней и текущей функциональных структур системы <водные массы – малый речной бассейн> применительно к области достаточного/избыточного насыщения, что в ландшафтно-экологическом отношении соответствует бореальной и суббореальной зоне, – «лесной МРБ», элемент 9 из типологических матриц  $M_{сф}^-$  и  $M_{сф}^+$  (табл. 3 и 4).

Совокупность состояний геосистемы <лесной МРБ>, с одной стороны, и ряд основных функций данной системы, с другой, формируют 9-элементную матрицу  $M_{сф}^*$  (табл. 5). В диссертации приведены наиболее примечательные случаи исследования влагооборота в различных геосистемах с анализом соответствующих типовых моделей – элементов данной матрицы.

Матрица  $M_{сф}^*$  (табл. 5) позволяет подобрать типовую модель реального объекта, расположенного в зоне (в период) устойчивых положительных температур и достаточного/избыточного увлажнения, с учетом текущей функции, в общем случае *не совпадающей* с его основной функцией.

В иных физико-географических поясах оценки должны производиться исходя из их зонально-азональной климатической специфики (полярные сутки, имеющие годовую длительность; равномерность инсоляции склонов различных экспозиций и др.).

Каждый элемент матрицы представляет собой абстрактный объект, или модель, характеризующуюся специфическими временными и пространственными интервалами «естественного» замыкания водного цикла. Диагональные элементы

1, 5 и 9 данной матрицы также составляют последовательность – ИГП типичных форм организации водных масс (табл. 1).

Таблица 5

Типы моделей приповерхностного оборота в геосистемах в области достаточного / избыточного увлажнения ( $M_{cf}^*$ )

Ведущий процесс в геосистеме Текущий процесс в геосистеме	Паро-капельный обмен	Эвапотранспирация	Сток
<b>Паро-капельный обмен – Конденсационный цикл</b>	<b>Почвенный монолит</b> <u>Время:</u> десятки мин (>> 1 мин) <u>Расстояние:</u> м ÷ первые десятки м (>> 1 см) нормально (1)	<b>Сухой слой</b> <u>Время:</u> сек ÷ десятки сек <u>Расстояние:</u> мм ÷ см влажно (2)	<b>Гидрофлуктуон</b> <u>Время:</u> миллисек (<< 1 с) <u>Расстояние:</u> мкм (<< 1 см) очень влажно (3)
<b>Эвапотранспирация – Эвапотранспирационный цикл</b>	<b>Сухой склон (распределенная модель МРБ)</b> <u>Время:</u> несколько сут ÷ первые десятки сут (>> 1 сут) <u>Расстояние:</u> первые тысячи м (>> 500 м) сухо (4)	<b>Склон (катена)</b> <u>Время:</u> около 1 сут <u>Расстояние:</u> сотни м нормально (5)	<b>Влажный склон (распределенная модель склона)</b> <u>Время:</u> первые часы (<< 1 сут) <u>Расстояние:</u> м ÷ десятки м (<< 500 м) влажно (6)
<b>Сток – Паводочный цикл</b>	<b>Большой речной бассейн</b> <u>Время:</u> первые десятки лет (>> 1 года) <u>Расстояние:</u> сотни ÷ около 1 тысячи км (>> 100 км) очень сухо (7)	<b>Средний речной бассейн</b> <u>Время:</u> 0,5-3 года <u>Расстояние:</u> десятки ÷ первые сотни км сухо (8)	<b>МРБ</b> <u>Время:</u> несколько сут ÷ первые десятки сут (<< 1 года) <u>Расстояние:</u> км ÷ первые десятки км (<< 100 км) нормально (9)

Иллюстрацией  $M_{cf}^*$  может служить график связи характерных линейных и временных интервалов замыкания ВБ (рис. 2). Зависимость, аппроксимирующая связь, близка к логистической  $y \approx x^{0,004}$ , что, очевидно, отражает процесс исторического развития форм влагооборота в области достаточного увлажнения. Это выражение соответствует модели параболического роста, когда скорость роста обратно пропорциональна возрасту системы с коэффициентом пропорциональности  $\lambda$  (Жирмунский, Кузьмин, 1990), если принять уменьшение частоты влагообо-

рота и нарастание линейных размеров геосистем (например, речных бассейнов) как признак денудационного «старения» земной поверхности. Тем самым, нарастание абсциссы можно представить как течение собственного времени объектов, а уменьшение этой величины в условиях орогенеза – как поворот собственного времени вспять (приложение 2 в диссертации).

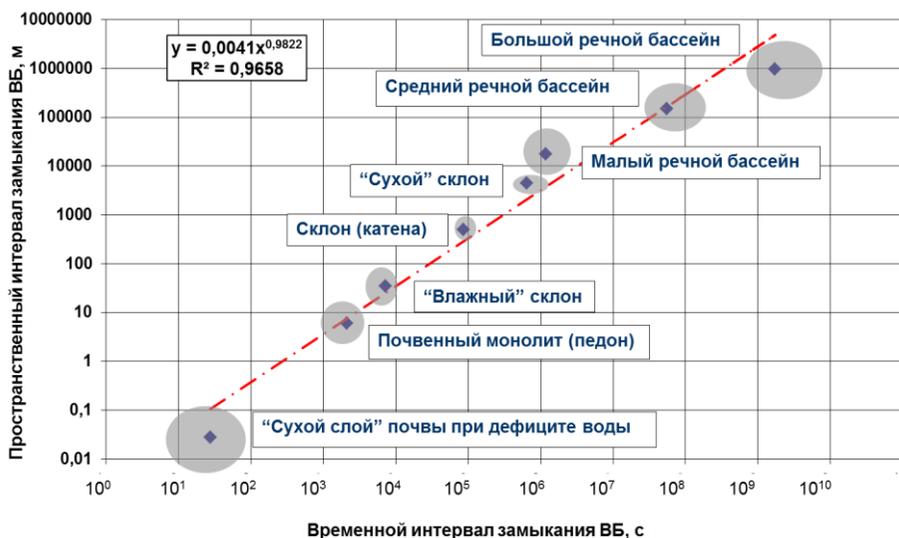


Рис. 2. Соотношение пространственных и временных интервалов оптимального замыкания водного баланса различных геосистем. Серыми пятнами показаны области вариаций величин по данным различных авторов.

Пятна на графике характеризуют преимущественные, предпочтительные, наиболее вероятные масштабы динамики объектов – своеобразные моды, соответствующие различным уровням их водонасыщения. Промежуточные значения  $\Delta X$  и  $\Delta T$  представляются, условно говоря, «запрещенными», маловероятными. Следует полагать, что понятия «горячих точек» (Uhlenbrook, 2008), и аналогичных им «горячих моментов» для анализа процессов на водосборах, весьма вероятно, коррелируют между собой, и именно эти корреляции на графике имеют вид *дискретных* серых пятен.

Приведенные выше понятия связываются с сильно неоднородным распределением процессов водного цикла в пространстве и во времени, что выражается в виде «непропорционально активных» территорий ( $\Delta X$ ) и моментов времени ( $\Delta T$ ), в рамках которых данные процессы преимущественно протекают (Sivapalan, Bloschl, 1995; Dooge, 2005; Brutsaert, 2005).

Из построения матриц  $M_{сф}$  и  $M_{сф}^*$  следует, что существует устойчивое (инвариантное) соотношение, связывающее величины пространственных и временных интервалов оптимального замыкания влагооборота заданной геосистемы.

Количественным выражением данного утверждения может быть в первом приближении линейная аппроксимация:

$$\Delta \mathbf{X} \approx c_w \Delta t. \quad (1)$$

Здесь  $\Delta \mathbf{X}$  – характеристический пространственный интервал замыкания ВБ, размерность длины;  $\Delta t$  – характеристический временной интервал замыкания ВБ, размерность времени;  $c_w$  – коэффициент связи, размерность скорости, изменяющийся в пределах 0,001-0,015 м/с. При этом можно полагать, что  $\Delta \mathbf{X} = \Delta x + \Delta y + \Delta z$  в обычном 3-мерном декартовом координатном пространстве ( $x, y, z$ ).

Вполне очевидна сильная ограниченность выражения (1) рядом дискретных характеристических интервалов. Эквивалентность пространственно-временной и функциональной структур заданной геосистемы означает в пределе выполнение строгого равенства (1). Нарушение же данного условия порождает рост числа компонентов ВБ, соответствующих трудностей расчетов и роста «невязки» ВБ. Условие (1) – своеобразный критерий «попадания» на узлы, разделяющие элементы ИГП форм влагооборота в геосистеме, то есть в наиболее устойчивые, типичные ее состояния. Наблюдаемое вынужденное отклонение от типичных состояний определяет динамику системы.

Анализ имеющихся сведений о результатах многочисленных ВБ-исследований дает основание полагать, что величина  $c_w$  изменяется в сравнительно узком диапазоне и не зависит от форм организации влагооборота. Оперирование «естественными», специфическими пространственно-временными интервалами замыкания ВБ объекта позволяет говорить о них как аналогах светоподобных интервалов в релятивистской механике, характеризующих движение объекта с некоторой равновесной скоростью  $c_w$ . Формально это означает справедливость строго равенства (1). Предварительный расчет при сильном варьировании пространственно-временных масштабов объектов (см. в табл. 5) дает относительно небольшой диапазон колебаний величины  $c_w \approx 0,001 \div 0,015$  м/с, а в среднем  $\approx 0,005$  м/с.

Непосредственным определением величины  $c_w$ , очевидно, следует признать оценку скорости вертикального движения пара в невозмущенной тропосфере, поскольку этот перенос является генетически первичным звеном влагооборота в системе <водные массы – тропосфера – зона выветривания>. Измерения проводились в 1960-е гг., была получена оценка скорости вертикального перемещения пара, изменяющаяся в пределах  $0,0028 \div 0,0050$  м/с в зависимости от условий (Куликов, 1968). По другим оценкам средняя дневная вертикальная скорость переноса влаги в приземном слое изменяется от 0,001 до 0,008 м/с (Третьяков, 1991), или оценивается около 0,007 м/с (Тимофеев, 1979).

Для любой геосистемы процесс водообмена определяется уровнем  $H_w$  влагосодержания характеризующих её высших форм организации водных масс (этот уровень обусловлен характером глобального влагооборота) и уровнем влагосодержания ключевого элемента объекта, который обеспечивает ведущую функцию

последнего и постоянно изменяется. Если так, то тогда существует предельная скорость  $c_w$  изменения  $H_w$ , а объект находится в движущейся системе координат, что позволяет применять преобразования, аналогичные лоренцевым. Произвольное задание граничных условий предполагает, что динамика влагосодержания происходит при бесконечном  $c_w$ , т.е. мгновенно, а неоднородные компоненты водного цикла, различные по генезису водные массы, просто суммируются.

Из матрицы  $M_{сф}^*$  (табл. 5) также следует, что условие эквивалентности функциональной и пространственно-временной структур заданного объекта предполагает пропорциональное расширение пространственно-временных интервалов оптимального (“естественного”) замыкания баланса при детализации (сужении) функционального описания объекта. Наоборот, попытки описать объект с помощью функции, присущей более высокой форме организации водных масс, приводят к необходимости в соответствующей пропорции уменьшить шаг пространственно-временной сетки для обеспечения минимальной невязки баланса.

#### **Глава 4. Взаимобусловленность пространственных и временных масштабов влагооборота в геосистемах.**

Конечность и выявленное относительное постоянство интенсивности влагооборота может быть интерпретировано как реализация (проявление) универсального свойства *равноскоростного* движения в дискретном пространстве-времени (Вяльцев, 1965). Дискретность вытекает из проведенного в главе 2 анализа отношений специфических, естественных, предпочтительных пространственных границ и временных интервалов (фаз) круговорота воды в геосистемах.

Константа  $c_w$  есть собственная (предельная) скорость *данной* причинной связи (Кузнецов, 1985). Можно полагать, что универсальной, «привилегированной» скоростью передачи сигнала водной массы является скорость движения водных масс, диспергированных в *принципиально иной* вещественной массе-среде. В качестве такой среды может выступать атмосферный воздух, биота, либо пористая/трещиноватая горная порода и т.д.

Излагаемая концепция опирается на устойчивую взаимосвязь ритмов и унаследованной пространственной структуры влагооборота и соответственно этому строится на основе как минимум двух принципов: 1) принципа относительности, т.е. независимости явлений влагооборота от разрешения пространственно-временной сетки их наблюдений; и 2) принципа независимости общей, равновесной интенсивности локального влагооборота от скорости движения воды в каком-либо его звене.

Согласно В.А. Фоку (1947), относительность (систем отсчета) понимается как существование одинаковых физических процессов в разных системах отсчета. Применительно к явлениям влагооборота автор понимает *относительность* как существование одинаковых процессов независимо от наших часов и линеек, позволяющих нам измерять характеристики движения воды в окружающей нас сре-

де. При этом мы предполагается, что рассматриваемые процессы не влияют на метрику пространства и времени, то есть пространство и время однородны.

Значение второго принципа заключается в том, что в определении понятий, относящихся к пространству и времени, фундаментальную роль играет передача сигналов (воздействий), приводящих к изменению объекта, с предельной скоростью. Если бы не существовало предельной скорости воздействия (она была бы бесконечно большой), то достаточно было бы одной универсальной системы отсчета на все случаи движения водных масс, который морфологически не были бы дифференцированы в географической оболочке.

Дискретное представление систем на собственном уровне их движения, т.е. локально, диктует построение их точечных («пятнистых») моделей, в свою очередь образующих системы (см. табл. 2 и 3). С известной долей абстракции изменяющийся объект моделируется нами, таким образом, в виде движущейся *частицы*. Более того, благодаря такой интерпретации точечной модели может получить развитие целый ряд интересных следствий.

Мы можем в принципе наблюдать, как любой массе воды в системе соответствует некоторая естественная частота. Можно выявить как минимум одно качественное состояние геосистемы, естественно обусловленное определенным уровнем содержания воды в ней. Совокупность выявленных качественных состояний геосистемы – ее инвариантно-генетическая последовательность – образует дискретную шкалу ее собственного пространства-времени, связанную с ее водонасыщенностью. Наименьшее содержание влаги дает свободный несплошной (дискретный) поток молекул воды. Наибольшая водонасыщенность участка земной поверхности выражается в формировании стока как регулярного явления.

Попадания в интервалы, связанные зависимостью (1), указывают на генетическую однородность компонентов ВБ, позволяющую их просто суммировать.

При интервале  $\Delta X < c_w \Delta t$  система рассматривается с точки зрения надсистемы, «поглощается» надсистемой. Тем самым ставится физически некорректная задача, в рамках которой система теряет свою целостность, и логично рассматривать однородные (линейные) связи более высокого порядка в данной таксономии.

При интервале  $\Delta X > c_w \Delta t$  система «растворяется» в своих подсистемах. При этом ставится физически некорректная задача другого рода, в рамках которой система проявляет свою целостность в пределе до неподвижности, при этом логично исследовать однородные связи более низкого таксономического ранга.

Поскольку каждый объект задает шкалу собственного (локального) времени, связанную с водонасыщенностью (собственной массой), то можно обосновать нижний предел – предел различимости движения этой системы. Применительно к гидросфере с помощью преобразований получена величина кванта влагооборота, попадающая в диапазон  $3 \cdot 10^{-32} \div 192 \cdot 10^{-32}$  (в среднем  $75 \cdot 10^{-32}$ ) кг·м<sup>2</sup>/с.

В диссертации изложена концепция единого пространства-времени конти-

ментального влагооборота, включающая девять принципов и три свойства специфического пространства-времени, а также контррегулирование (термин по Б. Гарцману) как механизм реализации сильной нелинейности в сопряжении разнородных процессов влагооборота.

Высшей формой организации водных масс в гидросфере, как уже подчеркивалось, выступает регулярный сброс избыточной влаги, который в системе «водные массы – тропосфера – зона выветривания» проявляется в виде сети постоянных речных потоков. В понятии речной бассейн сосредоточены все этапы становления (формы организации) гидросферы как системы планетарных водных масс применительно к суше. При этом каждый предшествующий этап в снятом, преобразованном виде включается в последующий.

В связи с развитием бассейновой концепции в природопользовании и географии (Корытный, 2001; Brutsaert, 2005; Sivapalan, 2005) следует сформулировать некоторые следствия предлагаемой нами модели пространственно-временной организации влагооборота на суше. В соответствии с типовыми моделями в матрице  $M_{сф}$ \* русловой сток реализуется через систему малых, средних и больших речных бассейнов. Площади бассейнов рек группируются вблизи преимущественных значений в соответствии с полимодальными гистограммами плотности распределения бассейнов по площади (например, рис. 3).

В пределах *малых речных бассейнов*, МРБ, происходит формирование речного стока, выступающего наиболее ценной для человека частью водных ресурсов. Русловой сток выступает здесь как ведущий процесс системы МРБ, реализуясь через ее функциональный элемент – русловую сеть (рис. 4). Функционирование МРБ вблизи состояния полного насыщения подчиняется синоптическим ритмам и соответствующим им пространственным симметриям.

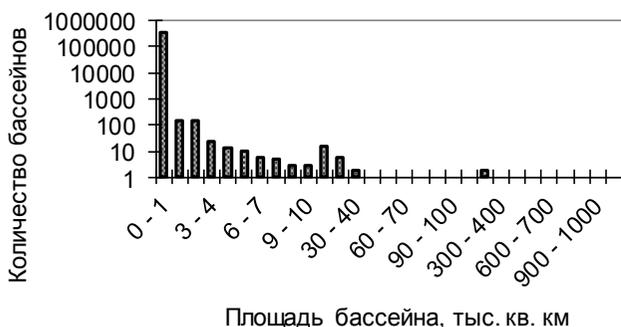


Рис. 3. Гистограмма плотности распределения рек бассейна Амура (Российская часть) по площади водосбора.

В зоне достаточного и избыточного увлажнения моделью объекта является «лесной

МРБ». Собственно МРБ, ограниченный «сверху» и «снизу» поверхностями задержания осадков и конечных потерь стока соответственно, состоит из двух основных взаимодействующих элементов – толщи почвогрунтов зоны аэрации (активного приповерхностного влагооборота) и речной сети.

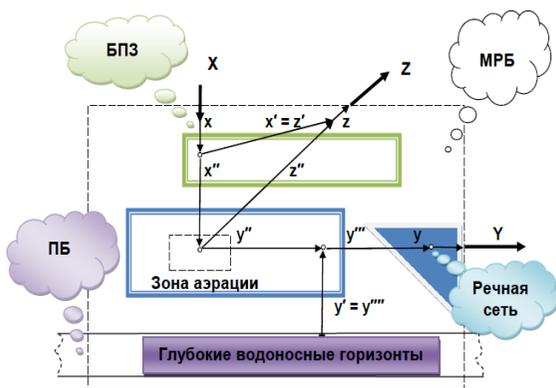


Рис. 4. Структура водного баланса МРБ.

Обозначения: X, Y, Z – соответственно осадки, сток, эвапотранспирация МРБ, принятого за простой узел; x, y, z – то же самое для МРБ, развернутого в сложный узел;  $x = x'(z') + x''$ , где  $x'$  – задержание осадков,  $z'$  – непродуктивное испарение;  $x'' = y'' + z''$ , где  $x''$  – просочившиеся осадки,  $z''$  – пополнение запаса испарения,  $y''$  – пополнение запаса стока;  $y''' = y'' + y'''$  (y''''), где  $y''$  – пополнение запаса русловой сети

и,  $y'$  – приток из подземного бассейна (ПБ),  $y''''$  – сток туда же (равенство выполняется на больших площадях). Штрих-пунктиром показаны простые ВБ-узлы. Бассейны: МРБ – малый речной бассейн, БПЗ – бассейн поверхностного задержания (совокупность БПЗ – поверхность задержания МРБ), ПБ – подземный бассейн.

В пределах этих элементов происходят процессы, представленные ИГП дождевого стока. Узловым элементом системы ВБ-объектов МРБ является зона аэрации, в пределах которой постоянно существуют области полного и неполного насыщения. Эти области с точки зрения стокоформирования рассматриваются как относительно независимые, целостные и сложно взаимодействующие объёмы воды – запас стока в форме гравитационной воды и запас эвапотранспирации (негравитационная вода). Роль зоны аэрации в формировании стока заключается в выделении текущих потерь – разделении объема просачивающейся влаги на оба запаса, а также в перераспределении воды между ними.

Зона аэрации МРБ, таким образом, выступает центральным, или внутренним, элементом данной системы, а речная сеть, бассейн поверхностного задержания и подземный бассейн рассматриваются как внешние. При этом речная сеть, будучи равномасштабной с зоной аэрации, связана с ней детерминированно, а взаимодействие бассейна поверхностного задержания и подземного бассейна с МРБ из-за существенной разницы в пространственно-временных масштабах носит случайный, стохастический характер.

Малые речные бассейны формируют почти сплошную зону формирования водных ресурсов (Карасев и др., 2001). В условиях умеренного и избыточного увлажнения для этой зоны характерны: наибольшее количество атмосферных осадков, относительно высокая дренированность территории, хорошо развитая сеть низкопорядковых водотоков, высокие модули и коэффициенты стока, наибольшая степень естественной зарегулированности стока, малое время руслового и склонового добега, интенсивная русловая и склоновая эрозия, малая мощность и высокая проницаемость покровных отложений, широкое распростра-

нение трещинных подземных вод, обеспечивающих основной объем речного стока, малая мутность и минерализация естественного стока.

Ведущим процессом выявленных средних речных бассейнов, СРБ, в основном выступает совокупность процессов водообмена между их подземными и поверхностными бассейнами как крупномасштабный аналог эвапотранспирации. К этим процессам следует отнести подземное питание водотоков, разгрузка и питание трещинных вод (в зонах экзогенной трещиноватости горных пород) и трещинно-жильных вод (в зонах разломов и оперяющих их зонах повышенной трещиноватости), пополнение и разгрузку подземных аллювиальных вод.

Вертикальный водообмен между реками и дренируемыми ими породами, согласно (Соколов, Саркисян, 1981), является широко распространенной формой связи речных и подземных вод в пределах межгорных и предгорных впадин, ярким проявлением чего выступает неоднократный переход речного стока в подрусловой и обратно. Показатели связи речных и подземных вод (водообмена между подземными и поверхностными бассейнами) в горно-складчатых областях закономерно изменяются с высотой местности. Эта связь в целом становится более тесной по мере понижения высоты рельефа, вследствие чего в формировании динамики подземного стока в реки увеличивается роль режима речных вод. Предварительный анализ гидрогеологических структур Восточной Сибири и Дальнего Востока показывает, что размеры СРБ примерно соответствуют размерам гидрогеологических массивов, вулканогенных гидрогеологических бассейнов и межгорных артезианских бассейнов. Размеры СРБ в данном случае соизмеримы с бассейнами средних рек, указанных А.И. Чеботаревым и Л.М. Кoryтным.

Характерная динамика СРБ в основном характеризуется годовыми циклами. При этом в горной части таких бассейнов время полного водообмена грунтовых вод измеряется, по сведениям В.С. Ковалевского, чаще всего от нескольких месяцев до одного года, что указывает на синхронность с динамикой стока СРБ.

СРБ, таким образом, выступают объектами *стокотрансформирующими* и, как правило, приурочены в замыкающих створах к зоне транзита водных ресурсов (выделяемой, в частности, для горных стран юга Дальнего Востока РФ). В пределах этой зоны расположены средние участки долин средних и крупных рек, служащие своеобразными каналами передачи поверхностного стока из горной территории на равнину; поток подземных вод при этом частично перехватывается глубоко врезанными долинами и межгорными котловинами, обеспечивая значительное водное питание водотоков. Реки при этом меняют свой облик с горного на равнинный, их долины расширяются, в русловом процессе появляются меандрирование и многорукавность. В долинах начинают развиваться консервативные формы организации водных масс (старичные озера, пойменные болота), а отдельные паводки могут принимать вид наводнений. Для транзитных ландшафтов характерны: малая скорость эрозии и формирование мощных кор выветривания (на

выполненных участках – развитие покровных глин и суглинков мощностью от 3 до 15 м), наибольшая относительная пропускная способность русел рек, наименьшая длина элементарного водотока, наивысшая повторяемость поверхностного стокообразования, развитие линз поровых подземных вод в рыхлых отложениях (более всего в аллювиальных), временные водотоки и овражно-балочная сеть как преимущественная форма первичной дренажной гидрографической сети.

Основной функцией *больших речных бассейнов*, БРБ является, по всей видимости, паро-капельный обмен в области, включающей мощную подземную часть с водоносными и водоупорными горизонтами, а также определенный объем тропосферы. Площади водосборов составляют порядка 300-1000 тыс. км<sup>2</sup> и более. Таким образом, понятие БРБ отражает функциональное единство вод, постоянно циркулирующих через подземные геоструктуры и атмосферные образования, в пределах которых происходит дифференциация вод на все известные формы их организации. Эти процессы лимитируются термическим фактором: геотермика в недрах и у поверхности земли и тепловой режим воздушных масс. Следовательно, БРБ является объектом *климатоформирующим*, в пределах которого, в частности, происходит регулярная трансформация влагонесущих воздушных масс. Примечательно, что масштаб таких бассейнов соизмерим с масштабами атмосферных колебаний, линейные размеры которых ~ 10<sup>3</sup> км (синоптические вихри).

Зона аккумуляции, морфологически выраженная как совокупность равнинных территорий, выступает как функциональный элемент БРБ, обеспечивающий ведущую функцию последнего. Основными чертами данной зоны являются: большая мощность рыхлых отложений и тяжелый механический состав почв, слабая естественная дренированность территории, периодическое переувлажнение и склонность к заболачиванию, низкие модули и коэффициенты стока, высокая неравномерность стока, формирование слабовыраженных речных долин, очень широких изрезанных пойм, малая относительная емкость речных русел.

По данным В.С. Ковалевского (1976), на равнинах с развитой дренажной сетью полный водообмен осуществляется в пределах одного-двух десятков лет, а в слабодренированных районах – несколько десятков лет (многолетний цикл водности). Учитывая несовершенство дренажной сети, а также неоднородность водовмещающих слоев, такой водообмен отличается неравномерной динамикой. Наиболее быстро обмениваются верхние части потока грунтовых вод (при сравнительно однородном строении горизонтов) и в наиболее проницаемых слоях.

Известно, что бассейн Амура простирается в четырех широтных физико-географических зонах. Именно речные бассейны, превосходящие по площади одну климатическую область (атмосферно-циркуляционную зону – по Н.Н. Иванову), удовлетворяют понятию БРБ. Выделение выдающихся БРБ, подобных бассейну Амура, Енисея, Амазонки или Нила, может быть обосновано с позиций их

геофизических и геохимических функций. Имеется ряд публикаций, где приводятся основания для такой возможности. Так, по данным А.П. Кулакова, крупнейшие речные системы на востоке Азии – Амура, Лены, Алдана, Колымы и других рек – формировались в пределах мегаморфоструктур центрального типа в позднем мезозое – кайнозое, причем рисунок гидрографической сети контролировался в основном глубинными радиально-концентрическими разломами. Л.М. Корытным показано, что обобщенные структуры речных долин Кавказа, Прибайкалья, Поволжья контролируются разломами различного возраста, типа и ранга.

Отмечается морфотектонический контроль больших речных бассейнов (Амура, Янцы, Хуанхэ, Меконга, Инда, Ганга и др.) (Зоненшайн, Савостин, 1989). Целый ряд БРБ приурочен к мегаморфоструктурам центрального типа, организованных, согласно В.В. Соловьеву (1977), в толще земной коры и мантии. Именно они формируют *океанические бассейны*, а основная функция БРБ, вероятно, имеет *гидросфероформирующий* характер. Эта функция включает и процессы поступления эндогенной и космогенной воды в гидросферу Земли и, с другой, потери воды на фотолит, увлажнение биосферы и др. (Орлёнок, 1997).

Поскольку для СРБ и БРБ сток не является их ведущей функцией, а скорее *дополнительной*, на первый план выдвигается их геоэкологическая функция. Это справедливо постольку, поскольку обменные процессы с гидросферой логичнее рассматривать, с одной стороны, в рамках геологических дисциплин (например, с учетом понятий термобарических флюидогенных и термобарохимических гидрогеологических систем (Караванов, 1996)), а с другой – с позиций биохимического расщепления и/или синтеза молекул воды в биотических и биокосных системах. Обоснование гипотезы зарождения протожизни в устьевых зонах рек – мелководных эстуариях, либо в мелководных внутриконтинентальных озёрах может косвенно указывать на высоковероятную биосфероформирующую, или биосферовоспроизводящую функцию БРБ. На мелководьях крупнейших рек происходит регулярное осаждение тонкодисперсного взвешенного материала, на поверхности частиц которого в результате адсорбции органических молекул может происходить полимеризация последних и, таким образом, предварять ранние стадии возникновения жизни.

Характеризуя бассейновую организацию водных масс на суше, следует отметить, что при уровне увлажнения, отклоняющемся от среднего, может наблюдаться временный «структурно-функциональный сдвиг» – собственно динамика. БРБ в условиях обширного и интенсивного увлажнения уже не функционируют как трансформаторы воздушных масс и при этом выполняют транзитную функцию, то есть временно выступают в форме СРБ. А СРБ в этих условиях функционально замещают МРБ (см. главу 5 диссертации). Естественно, отмеченный «структурно-функциональный сдвиг» характерен и для геосистем других масштабов, испытывающих специфическую динамику.

## Глава 5. Взаимобусловленность пространственных и временных масштабов в процессах глобального, регионального и локального водного цикла.

Системы типов моделей влагооборота в геосистемах, разработанные в главах 3 и 4, позволяют получить как новые качественные объяснения, так и оригинальные количественные результаты, развивающие представления о формировании водного и твердого стока и не противоречащие полученным ранее данным.

5.1. Интенсификация глобального влагооборота, наблюдаемая в виде тенденции роста удельных количеств воды во всех его звеньях (а именно испарения, дренируемого стока и осадков) – предмет внимания и споров в связи с анализом и прогнозом глобальных изменений (Шамов, 2010). Прирост удельного количества воды в гидросфере может быть оценен по величине прироста суммарного годового речного стока за период с 1960 по 1994 гг., а именно  $0,25 \text{ мм/год}^2$ , при этом ошибка этой оценки в доверительном диапазоне 90 % по отдельным регионам (Европа, Южная Америка) может достигать 100 % и более, что указывает на повышение общей вариации стока.

Возрастание удельного количества воды в относительно замкнутой системе – географической оболочке – приводит в целом к определенному расширению пространственно-временных масштабов динамики этого количества воды. В этом случае величина  $c_w$  в выражении (1) должна возрасти. Речь идет о повышении значимости гидрометеорологических событий более крупного пространственно-временного разрешения, что позволяет расценивать это как возможный переход гидроклиматической системы к иному квазистационарному состоянию с пространственной структурой преимущественно меньшей «частоты» (рис. 5). При этом общепланетарный геофизический фон принимается стационарным:  $c_w$  (угол наклона аппроксимирующей прямой) можно полагать постоянной величиной.

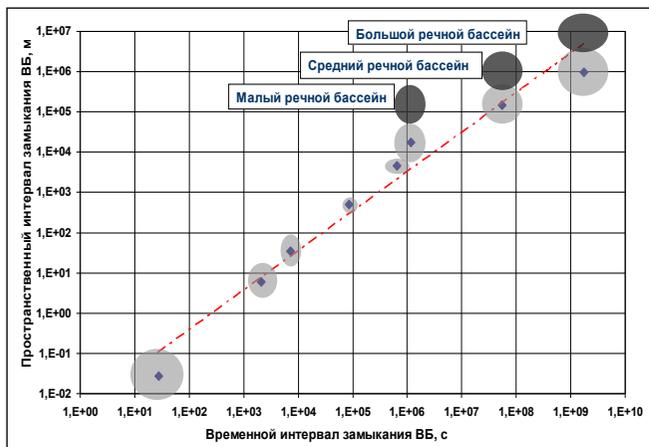


Рис. 5. Вероятный климатогенный сдвиг соотношения пространственных и временных интервалов замыкания ВБ геосистем в зоне достаточного увлажнения. Тёмно-серые пятна характеризуют предполагаемое соотношение интервалов в условиях роста интенсивности влагооборота.

Следовательно, частицы воды должны в среднем проделать более длинный путь за то же время, сделав биогеоосферу более тесно взаимосвязанной, признаком чего может являться усиление крупномасштабной атмосферной циркуляции

и образование атмосферно-океанических “мостов” после 1976 года.

При этом активный влагооборот захватывает более глубокие слои земной коры и океана и более высокие слои атмосферы: зарегистрирован подъем тропопauses в среднем по планете на 200 м за период 1979–2001 гг., рост содержания водяного пара в стратосфере со скоростью 1 % в год за период 1954–2000 гг., возрастающая роль глубинных океанических масс в меридиональной термохалинной циркуляции, связанной с процессами в тропосфере и стратосфере, а также с ростом объема притока пресных вод. Кроме того, ранее «законсервированные» в толще мерзлых пород и континентальных льдов источники воды вовлекаются в современный глобальный влагооборот, отмечена тенденция роста деятельного почвенно-грунтового слоя в приполярных областях северного полушария.

По отношению к уже сформировавшимся пространственно-временным структурам расселения и хозяйствования становятся более значимыми крупномасштабные гидрометеорологические процессы, которые приобретают характер катастрофических, что означает повышение вероятности ранее низковероятных экстремальных геодинамических событий. А именно:

а) наблюдается тенденция увеличения длительности, площади и глубины затопления пойм рек во время дождевых паводков, что вызвано преимущественно как ростом интенсивности глобального атмосферного увлажнения в целом, так и ростом интенсивности отдельных дождей/снегопадов. Для последней четверти XX в. за счет нарушения стационарности процессов стока для 7 из 8 паводковых событий на 16-и крупных внетропических реках (с площадью водосбора более 200 000 км<sup>2</sup> и с периодами наблюдений минимум 30 лет) прежде 1-процентная вероятность наступления этих событий достигла 3,5 %, а для более коротких рядов наблюдений расчеты показали «значительный рост» частоты паводков, характеризующихся «стационарной» обеспеченностью 0,5 %;

б) с 1970-х гг. во многих регионах (в Африке, Северной Америке, Европе, Центральной и Восточной Азии, восточной части Австралии) фиксируется нарастание средней длительности и площади засух, они приобретают сезонный и даже многолетний характер на фоне роста амплитуды их временной изменчивости;

в) увеличивается средняя длительность маловодных периодов на реках, безусловно повышая риск загрязнения/отравления пресноводных и окраинно-морских экосистем и обостряя проблемы речного транспорта, водоснабжения и продовольственного снабжения;

В связи со всем этим для обеспечения водной безопасности населения чрезвычайно необходимо создание многоцелевых водохозяйственных систем с более высокой степенью регулирования стока (степенью надежности).

5.2. Гидрохимическая индикация климатических изменений в больших речных бассейнах на границе криолитозоны выполнена по данным государственного гидрометеорологического мониторинга на сети ДВ УГМС. Интерес вызвал

всплеск концентрации и стока растворенного железа в Амуре в 5-10 раз, зафиксированный в 1994-1998 гг. При этом, если в 1970-1980-е годы концентрации железа, превышающие  $1,0 \text{ мг/дм}^3$ , регистрировались, как правило, в зимний лимитирующий период (январь–март), то во второй половине 1990-х гг. высокие концентрации железа были приурочены к летне-осеннему периоду. Значимой связи водности и концентрации железа в воде нами не обнаружено.

«Аномальное» поведение железа в Амуре определено связано с динамикой концентрации указанного элемента в водах амурских притоков в 2–6 раз в 1996–1997 гг., причем годовой объем сбросов сточных вод, сильно загрязненных соединениями металлов (в том числе железа) в российском Приамурье снизился.

Значительную долю стока притоков Амура составляют подземные воды, разгрузка которых происходит в верхних частях бассейнов этих рек. Следовательно, в качестве основных источников железа в воде Нижнего Амура и его притоков следует рассматривать почвы и породы горно-таежных ландшафтов – Al-Fe-гумусовые подбуры, Al-Fe-гумусовые лугово-лесные и горно-луговые почвы, оглеенные подбуры, а также горно-тундровые глеевые почвы (Аржанова, Елпатьевский, 2005). Болота же амурских равнин медленно поставляют до 99 % двухвалентного железа в нижележащие грунтовые и напорно-грунтовые воды, разгрузка которых в Амур в его нижнем течении и в его крупные притоки происходит в исчезающе малом объеме.

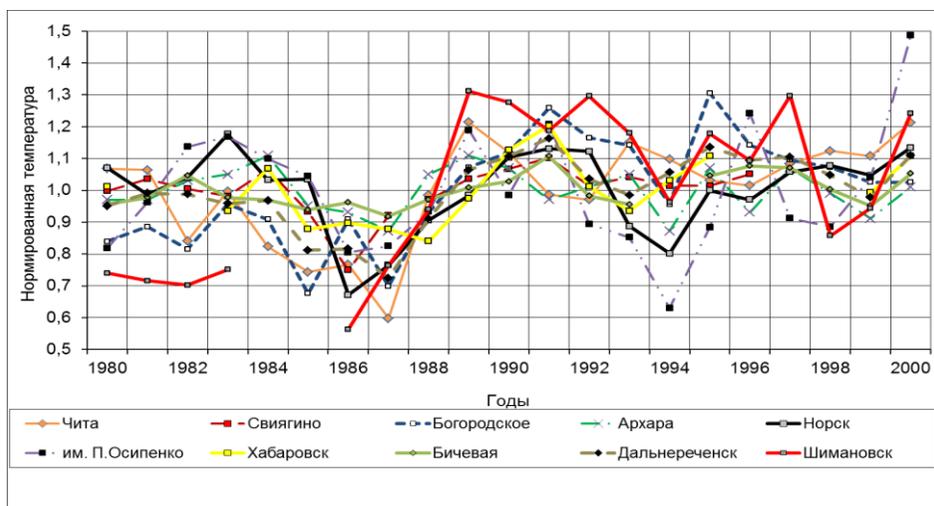


Рис. 6. Многолетняя динамика нормированной по среднему значению среднегодовой температуры почвы на глубине 3,2 м на 10 российских метеостанциях в бассейне Амура.

Согласно многолетним данным о температуре почвы на российских метеостанциях амурского бассейна (рис. 6) и сведениям об изменении температуры воздуха и сумм осадков причиной «железного» паводка на реках системы Амура в конце

XX века является деградация многолетней мерзлоты вблизи её южной границы и росту миграции «органического» железа из грубогумусных почв таёжных ландшафтов. На крупных реках химический эффект климатических изменений проявился существенно ярче, чем в их притоках (в 2-3 раза), что свидетельствует о большей чувствительности первых к колебаниям климата и ключевой роли масштабов в данных процессах: крупнее бассейн – сильнее эффект (рис. 7).

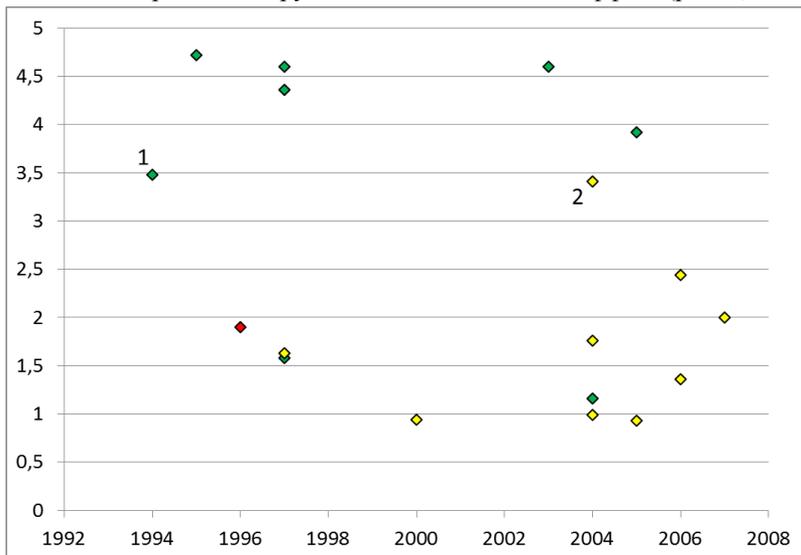


Рис. 7. Максимальные концентрации растворенного железа, мг/л, в реках бассейна Амура: 1 – бассейны площадью более 10000 км<sup>2</sup>, 2 – менее 10000 км<sup>2</sup>.

К сокращению стока железа в горных ландшафтах Амурского бассейна и в самом Амуре могло привести устойчивое снижение атмосферного увлажнения после 1994 года (до 10% и более от среднего уровня 1960-1990 гг.).

5.3. Механизм перехода бассейна от стадии формирования обычного (внутриобъемного) паводка к стадии катастрофического описан в ряде работ Б.И. Гарцмана. В диссертации приведен анализ перехода к катастрофическому паводку на реках юга Дальнего Востока на примере обстановок, сложившихся в Нижнем Приамурье в сентябре 1981 г. и августе 1984 г.

Катастрофический паводок, обусловленный выпадением обильных осадков на МРБ, имеет поверхностный генезис, при котором временно отсутствует приток в русловую сеть – вся поверхность водосбора превращается в эту сеть, вовлекая в процесс стекания влагозапас сети переполненных водой микропонижений.

В рамках ИГП паводочного стока МРБ и ИГП состояний водных масс (табл. 2) обычная русловая сеть малых бассейнов, переполняясь и захватывая пойму, по *характеру стекания* превращается в сеть мощных временных потоков и – местами – в крупные слабопроточные водоемы. Все подобные бассейны в

пределах территории выпадения осадков / снеготаяния, могут быть рассмотрены как сеть объемов воды на поверхности значительно более крупного бассейна. Последний, обозначенный нами как средний речной бассейн, временно теряет свою стокотрансформирующую функцию и становится стокоформирующим объектом и в данном случае может рассматриваться, в свою очередь, как *функционально* малый речной бассейн, обусловленный атмосферным увлажнением соответствующего пространственно-временного масштаба (табл. 6).

Таблица 6

Характеристики экстремальных дождевых паводков на юге Дальнего Востока

Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Дата	Мгновенный макс. модуль стока, л·с/км <sup>2</sup>	Мгнов. макс. модуль стока приращенной площади водосбора, л·с/км <sup>2</sup>
Бассейн р. Бол. Бира, Еврейская автономная область				
Сутара – ст. Известковая	1570	22.08.1981	77,7	-
Бол. Бира – ст. Биракан	2910	22.08.1981	95,5	116
Бол. Бира - Биробиджан	7560	23.08.1981	145	210
Сутара – ст. Известковая	1570	12.09.1984	66,9	-
Бол. Бира – ст. Биракан	2910	12.09.1984	66,0	64,9
Бол. Бира – Биробиджан	7560	12.09.1984	127	165
Бассейн р. Буряя, Хабаровский край				
Прав. Буряя – 8 км от устья	1680	02.07.1984	816	-
Буряя – 6,5 км выше устья р. Усмань	4880	02.07.1984	609	500
Буряя – Усть-Ниман	26500	03.07.1984	330	297
Бассейн р. Хор, Хабаровский край				
Хор–пос. Среднехорский	14500	05.08.1981	242	-
Хор – пгт Хор	24500	07.08.1981	222	194
Хор–пос. Среднехорский	14500	27.08.1981	154	-
Хор – пгт Хор	24500	29.08.1981	136	108

Трансформация паводочной волны, осуществляемая в пределах СРБ транзитными ландшафтами, обычно выражается в снижении соответствующего модуля пикового стока по длине реки. Если величина этого модуля не изменяется или возрастает, то следует говорить о контррегулировании стока, т.е. о его формировании в процессе прохождения паводка. В таблице 6 приведены такие случаи. Здесь приращенная площадь водосбора – величина площади водосбора, отсекаемая ближайшими друг к другу пунктами наблюдений.

Поступление осадков (или талых вод) обусловлено не столько интенсивностью их выпадения, сколько интенсивностью более масштабных тропосферных процессов – горизонтального переноса влагонасыщенных воздушных масс (или теплых воздушных масс). Тем не менее, общие закономерности формирования

водного баланса функционально малых речных бассейнов близки к таковым, выявленным для собственно МРБ в стадии формирования «нормального» паводка.

Индикатором переключения режима стокообразования от внутриобъемного к поверхностному выступает достаточно надежно идентифицируемый критический модуль стока, представляющий, к примеру, для юга Дальнего Востока (за исключением рек восточного макросклона Сихотэ-Алиня) относительно устойчивую величину около  $q_{кр} = 1,2 \cdot 10^{-7}$  м/с (около 100 л/с·км<sup>2</sup>) и имеющий, по всей видимости, климатическую обусловленность.

5.4. Современный (с 1990-х гг.) этап развития исследований на экспериментальных и репрезентативных бассейнах характеризуется технологическим бумом, связанным с массовым использованием высокоточных цифровых приборов, позволяющих принципиально повысить оперативность, детальность и пространственно-временное разрешение гидрометеорологических, гидрохимических, геоэкологических и геофизических наблюдений.

В диссертации показана возможность эффективного применения природных трассеров (растворенных химических соединений) и методов многомерной статистики. Одним из существенных результатов исследований является резкое возрастание доли склонового стока (более 80%) и сокращение доли ("запирание") подземного питания низкопорядковых рек в горных районах юга Дальнего Востока в периоды формирования дождевых паводков (рис. 8).

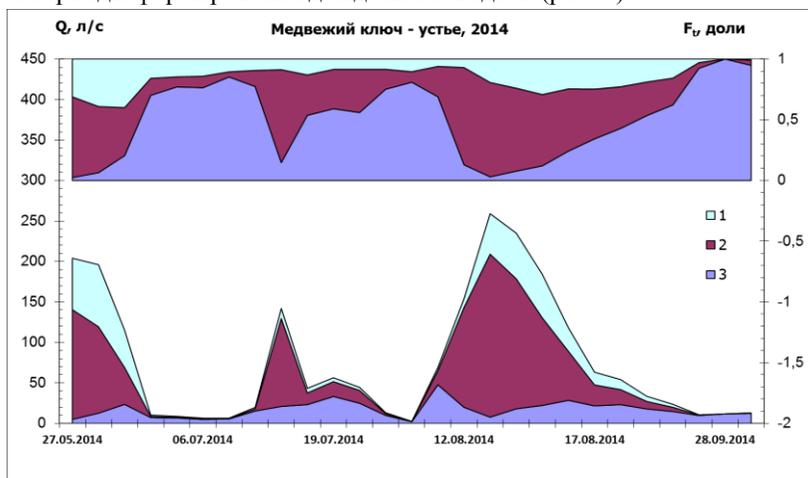


Рис. 8. Доли – генетические составляющие паводочного стока руч. Медвежий Ключ, Приморский край: 1) дождевые воды, 2) склоновые воды, 3) подземное питание.

Метод трассеров эффективен при решении ряда фундаментальных и прикладных геоэкологических задач, при оценках воздействия на окружающую среду, при выполнении инженерно-экологических изысканий, а также в режимных наблюдениях на специализированной водно-балансовой сети Росгидромета.

Изученный с помощью модели паводочного цикла МРБ гидроэкологический эффект промышленных лесозаготовок и обширных пожаров на водосборах юга Дальнего Востока указывает на возрастание вероятности высоких, в том числе катастрофических, паводков. Это связано с существенным (на 9–10%) снижением гравитационной критической бассейновой и русловой ёмкости и сокращением предельной интенсивности истощения руслового стока при существенном сокращении лесопокрытой площади водосбора. Данные результаты требуют целенаправленного учета интенсивности рубок и пирогенного повреждения лесов, а также скорости и полноты восстановления лесорастительного покрова при оценках геоэкологического риска в долинах рек региона, где размещены населенные пункты и производственная инфраструктура.

## **Глава 6. Пространственно-временная организация лимногенеза в условиях направленной долинной аккумуляции.**

Запасы и состав минеральных ресурсов водоёмов в основном определяются спецификой водного цикла в озёрных бассейнах. Озёра как аккумулятивные формы водных масс, приуроченные к областям концентрации стока (см. гл. 3), возникают и эволюционируют при условии, если ниже озера по течению скорость долинной аккумуляции преобладает над интенсивностью осадконакопления в озёрных ваннах, выступая, таким образом, как характеристика верхнего предела возникновения озёрных геосистем,  $c_L$ . Средняя многолетняя скорость аккумуляции в русле Амура в нижнем течении, по данным режимных наблюдений и с помощью ГИС, составляет более 1,5 мм/год. Соотношение этой скорости,  $c_L$ , и скорости осадконакопления в озёрных ваннах,  $v_L$ , может служить критерием современной тенденции развития озёрной геосистемы (табл. 7). Меньшее значение отношения  $v_L / c_L$  указывает на большую независимость водоёма от боковой приточности и росту доли автохтонных (органогенных) осадков в ванне озера. Преобладание скорости осадконакопления в устьевых участках притоков главной реки над интенсивностью аккумуляции в долине последней приводит к формированию многоорукавных русел и дельт.

Генетическая типизация природных объектов представляется важным этапом их исследования, на котором систематизируются накопленные сведения об объектах. В силу того, что колебание базиса эрозии на Нижнем Амуре выступает главным лимитирующим фактором лимногенеза, обобщенные сведения о многолетних характеристиках функционирования озерных геосистем (табл. 7) и морфометрические данные об озерных котловинах и внутренних водосборах позволяют разработать ландшафтно-генетическую типизацию данных систем.

В анализе для неисследованных озер использован индекс внутреннего влагооборота в озерной геосистеме,  $m$  – отношение площади внутреннего водосбора озера к площади его зеркала. Полученная нами тесная связь средней многолетней скорости осадконакопления в изученных озерах Приамурья,  $T$  (мм/год), с индексом

сом  $m$ , может быть аппроксимирована уравнением

$$T = 0,1165 \cdot \ln(m) - 0,0673 \text{ (мера тесноты связи } R^2 = 0,98). \quad (2)$$

Аппроксимация (2) дает возможность оценить средний многолетний приток наносов в озерные ванны по морфометрическим данным, снимаемым с карты.

Теоретическая зависимость скорости осадконакопления от индекса влагооборота (2) в идеальном случае – при условии  $q \neq f(m)$  – имеет форму линейной функции и отражает *свободное* поступление твердого материала с водосбора в озерную ванну без учета регулирующего влияния морфологии водосбора, русел озерных притоков и озерных котловин. В реальности же, величина внутренней приточности  $q$  в свою очередь зависит от  $m$ , характеризующего развитие озерного бассейна и глубину эрозионного вреза дренирующей его речной сети.

Таблица 7

Баланс твердого стока и средняя многолетняя скорость осадконакопления в припойменных водоёмах Нижнего Приамурья

Название озера, реки	Объем наносов, тыс. т / год				Средняя скорость седиментации, мм/год
	поступающих		выносивших	отлагающихся	
	с водосбора	из главной реки			
Эворон	182	–	60	122	0,31
Болонь	180	194	142	232	0,36
Чукчагирское	10	–	1	9	0,013
Кизи	70	175	118	127	0,24
Кади	37	42	48	31	0,24
Удыль	172	207	144	235	0,36
Орель	68	189	128	129	0,22
Чля	6	70	51	25	0,092
Джевдуха	17	0	0	17	0,47
Дальжа	44	0	0	44	0,39
Амур на участке от Хабаровска до Комсомольска-на-Амуре	21200	0	18200	3000	1,56

В условиях направленной аккумуляции в долинах главных рек (например, Амура в нижнем течении) увеличение индекса влагооборота  $m$  озерных геосистем (преимущественное нарастание площади озерного водосбора), гидравлически связанных с этими реками, сопровождается формированием аккумулятивных озерно-аллювиальных равнин. На этих равнинах, с одной стороны, происходит аккумуляция в приустьевых участках внутренних озерных притоков *вне озерных ванн*, с другой – в многолетнем разрезе возрастает поступление в озера наносов со стороны главной реки.

Таким образом, подтопленные приустьевые участки озерных притоков, характеризующиеся малыми уклонами, оказывают сильное *регулирующее* воздействие на твердый сток в озера.

Выражение  $(\rho/\rho_0) \cdot q = q_{03}$  из уравнения (2), очевидно, характеризует структуру твердого вещества, формирующего озерные отложения – долю в нем аллохтонного нерастворенного материала, поступающего с речными потоками в озеро. Величина  $q_{03}$  представляет собой долю внутреннего стока, задействованную в формировании наносов, аккумулирующихся в водоеме, и обозначено нами как *эффективный лимнический модуль стока* (ЭЛМС). ЭЛМС – это та часть стока с озерного бассейна, которая доносит аллохтонный взвешенный и влекомый материал до озерной ванны. Остальная часть стока доносит его не далее устьевых участков озерных притоков. При  $\rho = \rho_0$  озеро, очевидно, представляет собой идеальную глубокую горную котловину-приёмник водных и селевых потоков, где автохтонные процессы фактически не играют никакой роли в отложениях. По мере снижения  $\rho < \rho_0$  притоки в озеро привносят меньше своего материала, все более тонкого по механическому составу, а собственно озерного (абразивного и биогенного) становится больше.

Величина ЭЛМС для озёр Нижнего Приамурья с учетом (1) и (2) может быть описана эмпирической формулой

$$q_{03} = (0,1165 \cdot \text{Ln}(m) - 0,0673)/m. \quad (3)$$

В соответствии с величиной индекса внутреннего влагооборота в зависимости от значений лимнического модуля стока озерные геосистемы разделены на две основные группы: 1) *системы с низкой интенсивностью общего влагооборота*, условно характеризующейся величиной  $m < 20$  и 2) *системы с высокой интенсивностью общего влагооборота*, соответственно отвечающей условиям  $m > 20$ . Общий влагооборот складывается из внутреннего и внешнего. По степени влияния устойчивой аккумуляции в долине главной реки озерные геосистемы разделены также на две группы, внутри этих групп выделены типы и подтипы естественных водоемов, отвечающие условиям их влагооборота (табл. 8).

Группа морфоскульптурных озерных геосистем по мере возрастания индекса влагооборота характеризуется ослаблением фактора подтопления – аккумуляции – со стороны главной реки. Типологический ряд морфоструктурных озерных геосистем в том же направлении (рост индекса влагооборота) аналогичным образом испытывает ослабление своего специфического фактора – геолого-геоморфологической обусловленности появления озёр.

Если признать существование озерной сети указанного региона как конкретной формы системы <водные массы – зона выветривания> на уровне организации водных масс, определяемой как регулярная концентрация мигрирующей влаги (табл. 1), то приведенная выше типология может рассматриваться как лимническая инвариантно-генетическая последовательность применительно к усло-

Ландшафтно-генетические типы равнинных озер Нижнего Приамурья

Интенсивность влагооборота	Диапазон изменений индекса влагооборота	Морфоскульптурные (водно-аккумулятивные)	Морфоструктурные (депресссионные)
Слабая	$m < 1,8$	Пойменные озера (озера в поймах главных рек)	Озера болотных озерково-грядово-мочажинных биогеоценозов
		Древние озера подтопления без выраженных внутренних водосборов	Замкнутые озера внутри болотных массивов
	$2,5 < m < 5$	Древние озера подтопления с остаточными внутренними водосборами	Внутренние озера
	$5 < m < 20$	Озера подтопления с редуцированными внутренними водосборами	Переходные внутренние озера
Высокая	$20 < m < 40$	Приустьевые озера притоков в сужениях долины главной реки	Переходные внешние озера
	$m > 40$	Приустьевые озера притоков в расширениях долины главной реки	Внешние озера

При этом направление этой ИГП в табл. 8 соответствует направлению движения против часовой стрелки от пойменных водоёмов вниз и затем вверх к озёрам болотных озерково-грядово-мочажинных биогеоценозов по мере ослабления экзогенного фактора – аккумуляции – и усиления фактора внутреннего, эндо-динамического развития озерообразования (лимногенеза). Интенсивность движения вдоль ИГП лимногенеза, по всей видимости, контролируется скоростью повышения базиса эрозии в условиях устойчивой долинной аккумуляции.

Два нижних типа в обоих рядах ( $m > 40$ ) по режиму и морфологии наиболее близки друг к другу и различимы по морфогенезу, а именно определяются морфоструктурой, в которую врезаны долины притоков, и историей развития этих долин. Различимы они и морфологически: внешние депрессионные озера имеют более «закрытую» возвышенностями котловину и соединены с главной рекой одной действующей протокой, приустьевые озера притоков в пойменных расширениях главной реки связаны с главной рекой двумя и более протоками.

Возрастание интенсивности влагооборота в озерных геосистемах сопровождается нарастанием густоты речной сети и общего количества низкопорядковых водотоков на их внутренних водосборах.

## **Глава 7. Пространственно-временные аспекты устойчивости торфяно-болотных геосистем при их сельскохозяйственном освоении.**

Болота как консервативные формы организации водных масс получили широкое распространение в долинах больших рек и приурочены к районам концентрации водных ресурсов. Избыток воды препятствует устойчивому использованию болот для их хозяйственного использования.

В основу анализа влагооборота в пределах гетеротрофного торфяного болота – Диппинского болотного массива, типичного для долины Нижнего Амура и подверженного многолетнему поэтапному сельскохозяйственному освоению, положен принцип соответствия между состоянием и тенденцией эндодинамического развития этих болот с учетом биологических требований размещаемых сельскохозяйственных культур к количеству воздуха в почве. В исследовании объекта применен распространенный в науках о Земле принцип актуализма (гипотеза эргодичности) – замена длительных наблюдений за динамикой объекта анализом его макроскопической пространственной неоднородности.

В процессе антропогенной эволюции Диппинского болотного массива, представленного маломощными торфяными почвами, сформировавшимися на тяжелых и средних суглинках, выделяется ряд относительно устойчивых форм организации почвенного профиля. Эти формы выступают как стадии антропогенного (сельскохозяйственного) почвообразования и могут рассматриваться в качестве элементов ИГП данной мелиоративной системы (МС), определяемых каждый характерным набором почвенных генетических горизонтов: 1) целинная торфяная почва, 2) освоенная дерново-перегнойно-торфяная почва, 3) пахотная перегнойно-торфяная почва, 4) вновь освоенная пахотная перегнойно-торфяная почва, 5) перегнойно-глеевая почва, 6) антропогенно-выпаханная почва.

Морфологически каждый последующий элемент является результатом преобразования предыдущего, а именно заменой или появлением / исчезновением какого-либо почвенного генетического горизонта. При переходе ко второму элементу сфагновый очес заменяется задернованным торфяным горизонтом. На третьей ступени последний заменяется пахотным торфяным горизонтом. На уровне вновь освоенной пахотной перегнойно-торфяной почвы (4 стадия) пахотный торфяный горизонт преобразуется в аккумулятивный пахотный. На пятой ступени торфяные горизонты исчезают в профиле. Антропогенно-выпаханная почва, замыкающая ряд, в свою очередь характеризуется выходом на поверхность подстилающего суглинистого субстрата.

Форма влагооборота гомоморфна по отношению к форме/стадии антропогенного почвообразования (рис. 9 с учетом табл. 1). Каждый из указанных элементов отличается специфическими водопроводящими и водоудерживающими свойствами почвы и водными режимами, которые собственно и являются объектом преобразования. В геоэкологическом отношении развитие второго элемента



нии, пригодном для производства овощных и пропашных культур. При этом по мере уменьшения мощности органогенного слоя прослеживается устойчивое ухудшение агрофизических свойств почвенного профиля (уменьшение наименьшей и полной влагоёмкости, снижение водопроницаемости).

Объект, несмотря на возрастающий объем капиталовложений в реконструкцию инженерных сооружений и общих затрат, неуклонно возвращается на уровень  $g_6$  (согласно табл. 1) и устойчиво стремится к начальному состоянию – стадии минерального болота. При этом в результате ветровой эрозии, микробиологического разложения и минерализации в течение 30 лет происходит практически полная сработка торфяного слоя и производных органогенных горизонтов.

Дальнейшая стратегия сельскохозяйственного использования МС, целиком прошедшей вдоль ИПП-МС, обычно строится на значительном расширении пространственно-временного масштаба преобразований и капиталовложений: на использовании дополнительных месторождений торфа, увеличении объёмов вносимых извне мелиорантов, регулярной реконструкции системы с закрытым дренажем. Поддержание функции МС, таким образом, осуществляется на уровне природохозяйственной *надсистемы*, включающей данную МС как элемент.

Анализ агрофизических свойств и режимов рассматриваемой МС позволяет утверждать о неустойчивости ее состояния, применимого для производства овощных и пропашных культур, несмотря на соответствие требуемой структуре влагооборота применяемых технических приёмов и мероприятий. Стадия влагооборота  $g_9$  «регулярный сброс избыточной влаги», соответствующая устойчивому обеспечению пропашного земледелия, требует разработки системы капиталоемких гидромелиоративных стратегий с учетом локальной специфики влагооборота.

Искусственное осушение болот изоморфно развитию естественной эрозивной – озерной и ручейковой – сети в пределах болотного массива в условиях постоянного в многолетнем разрезе притока влаги в систему. Соответственно формирование искусственного перегнойного почвенного горизонта в верхней части профиля изоморфно развитию подобных почв в грядово-мочажинных болотных комплексах Удиль-Кизинской низменности. Таким образом, хозяйственное воздействие по уровню интенсивности соответствует – согласно выявленной К.Е. Ивановым (1975) последовательности развития болот зоны умеренного климата – более развитой, чем данная, форме болотных массивов и, следовательно, выступает как сверхкритическое для данных болот. Геоэкологическая катастрофа проявляется как в относительно быстром снижении мощности органогенного слоя преобразуемых почв, так и в последовательном исчезновении генетических горизонтов, сформировавших к началу освоения собственный пространственно-временной континуум – профиль почвенного тела.

С точки зрения пространственно-временной структуры данной геосистемы такая картина может быть, с одной стороны, представлена как условное перене-

сение рассматриваемых болотных массивов из более «сухой» зоны гетеротрофных болот (Среднеамурская низменность) севернее, в более «влажную» зону грядово-мочажинных болотных комплексов (Удиль-Кизинская низменность), выделенных Ю.С. Прозоровым (1985). Скорость такого условного «перемещения»,  $v_b$ , превышает естественную интенсивность,  $c_b$ , эволюционного накопления влаги и, соответственно, органического вещества в гидроморфных почвах Приамурья.

Расчет скорости,  $v_b$ , может быть приближенно произведен с учетом расстояния (250 км) и времени формирования перегнойно-торфяного горизонта в преобразованных торфяных почвах (15 лет). Оценка  $v_b$ , превышающей  $c_b$ , составляет около 17 км/год. При этом заведомо завышенная оценка величины  $c_b$ , оцененная по минимальному времени наступления олиготрофной эндодинамической стадии после образования болот (500 лет по Ю.С. Прозорову (1985)), приближается к 0,5 км/год. Различие в интенсивности обоих процессов – примерно два порядка.

С другой стороны, реконструкция палеогеографической обстановки в Приамурье в голоцене свидетельствует о современном – последние 4-5 тыс. лет – повышении базиса эрозии на Нижнем Амуре с интенсивностью 0,6-1,2 мм/год (Махинов, 1992; 1996), по нашим оценкам, более 1,5 мм/год (см. табл. 7). В соответствии с этим величина горизонтального нарастания подпора озёрно-аллювиальных равнин Среднеамурской низменности  $c_b$  варьирует от 1-2 до 5 м/год – в зависимости от усреднённого уклона местности. Обводнение верхних сфагново-торфяных горизонтов при этом, с учетом их пористости, соответственно увеличивается до 6 м/год. Сохранение данных болот в прежнем качестве требует формирования такой эрозионной сети, которая примерно с такой же интенсивностью дренировала бы болота. Искусственное понижение уровня почвенно-болотных вод на используемых болотных массивах на 0,7-1,0 м обычно происходит в два этапа в течение 10-15 лет. Оперирова теми же уклонами дневной поверхности, получаем скорость  $v_b$ , приближенно равную как минимум 230 м/год. Реальная интенсивность осушения превосходит естественную (предельно возможную) интенсивность воздействия также примерно на два порядка.

Такая оценка означает, что болотная геосистема теряет собственную целостность, и устойчиво функционирует лишь в контексте надсистемы – почвенного покрова данного района в целом, т.е. требует регулярных субстратных влияний в виде завоза торфа, песчано-гравийной смеси, удобрений. При этом агрохозяйство в таком режиме самостоятельным быть не может проблему необходимо решать в рамках природно-хозяйственной системы более высокого уровня, включающей Диппинскую МС в виде элемента, связанного с другими элементами wesentlichно-энергетическими потоками. Объем восполняемого ресурса-субстрата в многолетнем плане предположительно на два порядка должен превосходить изначальный, что, очевидно, сопряжено с серьезными материальными затратами, эффективность которых сомнительна.

## ВЫВОДЫ

1. Результаты, изложенные в диссертации, в совокупности представляют собой этап развития методологии исследований процессов приповерхностного влагооборота в геосистемах с учётом специфических масштабов этих процессов, определяющих адаптивные стратегии в использовании этих геосистем.

2. Относительно устойчивое соотношение формально связывает характерные линейные размеры и временные интервалы замыкания водных циклов в геосистемах любой размерности посредством фундаментальной постоянной влагооборота. Последняя имеет физический смысл предельной равновесной интенсивности глобального влагооборота и численно равно скорости вертикального движения водяного пара в невозмущенной тропосфере – около 0,005 м/с (при теоретическом диапазоне изменений 0,001-0,015 м/с).

4. Постоянная влагооборота выступает основным критерием ландшафтно-экологической зональности и позволяет сформулировать систему ее структурных типологических моделей, отражающую единство континентальных вод.

5. Постоянная влагооборота выступает основным критерием иерархической бассейновой и суббассейновой структуры земной поверхности. Предложена типология моделей влагооборота в геосистемах в зоне достаточного/избыточного увлажнения.

6. Отмечено существенное возрастание в целом пространственно-временного масштаба значимых гидрометеорологических явлений относительно масштабов унаследованных ландшафтных и хозяйственных структур. Это проявляется в виде роста неустойчивости этих структур, сильной нелинейности процессов формирования жидкого и твердого стока и, следовательно, в повышении природных и техногенных рисков в устоявшейся практике природопользования (включая строительство и эксплуатацию инженерных сооружений, сельское и лесное хозяйство, энергетику, транспорт).

7. Многолетние химические ("ионные") паводки на крупных реках у границы криолитозоны могут указывать на критические климатические изменения в их бассейнах. При этом существенным оказывается совокупный кооперативный эффект колебаний температуры и увлажнения (потепления и увлажнения, потепления и рост сухости климата), а также их относительная пространственная однородность.

8. Массовые лесозаготовки и обширные пожары на водосборах юга Дальнего Востока сопровождаются возрастанием вероятности (риска) высоких, в том числе катастрофических, паводков. Это связано с существенным (на 9–10%) снижением гравитационной критической бассейновой и русловой емкостью и предельной интенсивности истощения руслового стока в условиях существенного сокращения лесопокрытой площади водосбора.

9. На основе понятия инварианта системы и оригинального понятия предель-

ной интенсивности вещественного цикла предложена генетическая классификация озерных геосистем, находящихся в условиях направленной аккумуляции в долинах больших рек на примере Амура. Типы озёрных геосистем определяют специфические условия осадконакопления в озёрах и запасы и свойства их минеральных ресурсов.

10. Генетическая типизация сельскохозяйственно-освоенных торфяных болот в зоне муссонного климата на основе анализа их свойств и режимов на различных стадиях их освоения позволяет сформулировать и решать задачу устойчивости данных объектов как геосистем с учётом закономерностей эндодинамического развития естественных болот.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Монографии, главы в монографиях

1. *Трансформация мелиорированных торфяных почв в Приамурье* / Климин М.А., Матрошилов Ю.А., **Шамов В.В.**, Ганин Г.Н., Кириенко О.А., Неудачин А.П., Неудачина И.И., Уразметов Р.В. Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 1995. 134 с.
2. *Водные ресурсы горнорудных районов и их преобразование (юг Дальнего Востока)* / Шевцов М.Н., Караванов К.П., Махинов А.Н., Кулаков В.В., Мордовин А.М., **Шамов В.В.**, Шестеркин В.П. Хабаровск: изд-во Хабар. гос. тех. ун-та, 1998. 159 с.
3. **Шамов В.В.** *Влагооборот на суше: системно-методологический и физико-геометрический анализ*. Владивосток: Дальнаука, 2006. 176 с.
4. **Shamov V.V.** Survey-based influence of storage and release of water from floodplain lakes on the main river in sparse-data area, the Lower Amur, Russia // *Floodplains: Environmental Management, Restoration and Ecological Implications (Environmental Research Advances)* / Ed. E.H. Alcantara. NY, Nova Publishers, 2013. Pp. 149-160.
5. Речные системы Дальнего Востока: четверть века исследований / Гарцман Б.И., **Шамов В.В.**, Губрева Т.С и др. Владивосток: Дальнаука, 2015. 492 с.

### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

6. Гарцман Б.И., **Шамов В.В.** *Системные исследования водного баланса малых речных водосборов* // География и природные ресурсы. 1991. №4. С. 11-20.
7. Гарцман Б.И., **Шамов В.В.**, Третьяков А.С. *Система водно-балансовых моделей малого речного бассейна* // География и природные ресурсы. 1993. №3. С. 27-36.
8. **Шамов В.В.** *Об устойчивости природных объектов (на примере мелиоративных систем)* // Известия РАН. Серия геогр. 1993. №4. С. 111-115.
9. Онищенко В.Г., **Шамов В.В.**, Кудряшов В.А. *Агрофизические свойства бурых лесных почв Хабаровского края* // Почвоведение. 1997. № 5. С. 574-582.
10. **Шамов В.В.**, Матрошилов Ю.А., Петров Е.С., Баканов К.Г. Условия формирования и оценка ресурсов органоминеральных отложений озер Нижнего Приамурья // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 105-111.
11. **Шамов В.В.** *Связь функциональной и пространственно-временной структур влагооборота на суше* // География и природные ресурсы. 2002. №1. С. 34-41.
12. **Шамов В.В.** *Ландшафтно-гидрологическая типизация равнинных озер Нижнего Приамурья* // География и природные ресурсы. 2003. №1. С. 125-132.
13. Левшина С.И., **Шамов В.В.**, Ким В.И. *Органическое вещество в воде припойменных озёр Нижнего Амура* // Водные ресурсы. 2007. №5. С. 596-603.
14. **Шамов В.В.** *Признаки и последствия усиления динамики крупномасштабных гидрологических процессов в связи с изменением климата* // Известия Иркутского государ-

ственного университета. Сер. Науки о земле. 2010. № 2. С. 183-193.

15. **Шамов В.В.** *Водообмен озёрных участков долины Нижнего Амура (по данным экспедиционных исследований)* // География и природные ресурсы. 2011. №4. С. 107-113.
16. **Шамов В.В.** *Влияние пространственно-временного разрешения данных о речном стоке на полученную на их основе внутреннюю связность его динамики* // Инженерные изыскания. 2012. № 1. С. 37-43.
17. **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г. *Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи* // Инженерные изыскания. 2013. № 1. С. 60-69.
18. **Шамов В.В.**, Ониши Т., Кулаков В.В. *Поведение железа в Амуре в конце XX века* // Водные ресурсы. 2014. № . С.
19. **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И., Губарева Т.С., Макагонова М.А. *Исследования гидрологических последствий современных изменений климата в Дальневосточном регионе России* // Вестник ДВО РАН. 2014. № 2. С. 15–23.
20. Болдескул А.Г., **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И., Кожевникова Н.К. 2014. *Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине* // Тихоокеанская геология. Т. 33. № 2. С. 90-101.
21. Гарцман Б.И., **Шамов В.В.** *Натурные исследования стокоформирования в Дальневосточном регионе на основе современных средств наблюдений* // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 6. С. 589-599.
22. Boldeskul A.G., **Shamov V.V.**, Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K., Gubareva T.S., Lutsenko T.N. *Chemical composition of geographical types of the small river basin waters (central Sikhote-Alin mountains, Pacific Asia)* // Water Resources. 2016. V. 43(1): 112-124.
23. Губарева Т.С., Болдескул А.Г., Гарцман Б.И., **Шамов В.В.** *Анализ природных трассиров и генетических составляющих стока в моделях смещения (на примере малых речных бассейнов в Приморье)* // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 4. С. 387-399.
24. Кичигина Н.В., Губарева Т.С., **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И. *Трассерные исследования формирования речного стока в бассейне озера Байкал* // География и природные ресурсы. 2016. № S5. С. 60-69.
25. Кожевникова Н.К., Луценко Т.Н., Болдескул А.Г., Лупаков С.Ю., **Шамов В.В.** *Водная миграция макроэлементов в хвойно-широколиственных лесах Сихотэ-Алиня* // Сибирский лесной журнал. 2017. № 3. С. 60-73.

#### Статьи в прочих изданиях, доклады на конференциях

26. **Шамов В.В.** *Сравнительная характеристика водно-физических свойств торфяных почв различной степени окультуренности* // Тез. докл. IV конф. молодых ученых ИПФС АН СССР, Пушкино, 1988. С. 51-52.
27. Петров Е.С., **Шамов В.В.** *Оценка водно-тепловых свойств маломощных торфяных почв при их трансформации в процессе сельскохозяйственного использования* // Биогеохимическая экспертиза состояния окружающей среды. Владивосток, 1993. С. 129-138.
28. **Шамов В.В.** *Устойчивость и деградация природных систем* // Проблемы и методы исследования природных процессов. Сб. науч. статей. Владивосток: Дальнаука, 1994. С. 122-129.
29. **Shamov V.V.** *Water Balance Relations in 'Water Masses - Small River Basin' System* // Abstracts of XIV International INQUA Congress, August 3-10, 1995, Freie Universität, Berlin. P. 251.
30. **Шамов В.В.** *Воднобалансовые объекты и функции в системе водные массы – малый речной бассейн* // Закономерности строения и эволюции геосфер. Тез. докл. III Междун. симп. Ч.II. Хабаровск-Владивосток, 1996. С. 110-112.
31. **Шамов В.В.** *Ландшафтно-гидрологическая интерпретация сельскохозяйственного*

- освоения болотных массивов Приамурья // Исследования элементов природной среды. Сб. науч. статей. Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 65-82.
32. **Шамов В.В.** Два измерения системного подхода в изучении социоприродных систем // Структурная организация и взаимодействие упорядоченных социоприродных систем. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 43-50.
33. Третьяков А.С., **Шамов В.В.** Об инварианте географической оболочки Земли // Структурная организация и взаимодействие упорядоченных социоприродных систем. Сб. науч. статей. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 85-90.
34. **Шамов В.В.** Особенности формирования водного баланса элементарных речных бассейнов юга Дальнего Востока // Геолого-геохимические и биогеохимические исследования на Дальнем Востоке. Вып. 8. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 124-132.
35. **Шамов В.В.** Устойчивость природохозяйственных систем и этика социоприродных отношений // Исследования водных и экологических проблем Приамурья. Владивосток-Хабаровск: Дальнаука, 1999. С. 181-184.
36. **Шамов В.В.** Физикалистская концепция устойчивости биосферы // Биосфера и нососферный путь ее развития. Хабаровск-Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 173-184.
37. **Шамов В.В.** Критерии устойчивости географических систем в терминах неклассической физики // Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез. Тез. междунар. симп. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1999. С. 257-260.
38. Ким В.И., **Шамов В.В.** Характеристика твердого стока Среднего Амура // Геохимические и эколого-биогеохимические исследования в Приамурье. Вып. 10. Владивосток: Дальнаука, 2000. С. 186-191.
39. **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И. Анализ дождевых паводков в Приамурье в связи с рубками и пожарами с помощью модели паводочного цикла малого речного бассейна // Экстремальные гидрологические события: теория, моделирование и прогнозирование. М.: ИВП РАН, 2003. С. 93-97.
40. **Shamov V.V.** *On the Way to Relativistic and Quantum Theory of Environment?* // *Frontier Perspectives*. 2003. V. 12. № 2. Pp. 12-16.
41. **Шамов В.В.**, Ким В.И. К оценке водорегулирующей роли озер долины Амура в различные фазы водного режима // Биогеохимические и гидроэкологические характеристики наземных и водных экосистем. Вып. 17. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 139-143.
42. Кот Ф.С., **Шамов В.В.**, Зозулина В.Е. *Рассеянные металлы в донных отложениях озер Нижнего Амура (поведение и формы)* // Биогеохимические и гидроэкологические характеристики наземных и водных экосистем. Вып. 17. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 100-111.
43. Shibata H., Yoh M., Ohji B., Guo Y., Shi F., Cai T., Xu X., Wang D., Yan B. and **Shamov V.V.** *Biogeochemical processes of iron and related elements in terrestrial ecosystems of Amur River* // Report of Amur-Okhotsk Project. No. 4. Kyoto, RIHN Publ., 2007. Pp. 75-93.
44. **Шамов В.В.**, Кулаков В.В., Ониши Т. *Аномальная динамика железа в реках системы Амура в конце XX века: вероятные причины* // Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение. № 4. 2008. С. 72-78.
45. **Shamov V.V.**, Onishi T. and Kulakov V.V. *Iron flux behavior anomaly in the Amur Basin in 1990s: feasible reasons* // Report of Amur-Okhotsk Project. No. 5. Kyoto, RIHN Publ., 2008. Pp. 199-207.
46. Onishi T., Shibata H., Nagao S., Park H., Yoh M. and **Shamov V.V.** *Long-term trend of dissolved iron concentration and hydrological model incorporating dissolved iron production mechanism of the Amur Basin* // Report of Amur-Okhotsk Project. #5. Kyoto, RIHN Publ., 2008. Pp. 199-207.
47. Onishi T., Yoh M., Shibata H., Nagao S., Kawahigashi M., **Shamov V.V.** *Numerical experiment of land cover conversion effect on dissolved iron productivity of the Amur River Basin* // Land cover and land use changes in North East Asia: problems of sustainable nature management. Proc. International Sci. Conf., Sept. 6-12, 2009, Vladivostok, Russia. Vladivostok:

Dal'nauka, 2009. Pp. 118-123.

48. Левшина С.И., Матюшкина Л.А., **Шамов В.В.** *Биогеохимические особенности выноса органического вещества в бассейне озера Гасси // Биогеохимические и географические исследования природно-техногенных экосистем. Вып. 18. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 172-188.*
49. Onishi T., Shibata H., Yoh M., Nagao S., Park H. and **Shamov V.V.** *Evaluation of land cover change impacts on dissolved iron flux of the Amur River // Report on Amur-Okhotsk Project. No. 6 (final issue). 2010. Kyoto, RIHN Publ., Pp. 213-223.*
50. Onishi T., Yoh M., Shibata H., Nagao S., Kawahigashi M. and **Shamov V.V.** *Topography as a macroscopic index for the dissolved iron productivity of different cover types in the Amur River Basin // Hydrol. Res. Lett. 2010, No. 4, 85-89.*
51. **Shamov V.V.**, Gubareva T.S., Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G., Gartsman B.I. *A theoretical background of experimental research for rainstorm runoff structure at a small forested catchment // Boreal forests in a changing world: challenges and needs for actions / Proc. of the 16<sup>th</sup> IBFRA, Aug. 15-21 2011, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: Sukachev Inst. of forest SB RAS, 2011. Pp. 92-95.*
52. Kozhevnikova N.K., Gartsman B.I., Gubareva T.S., **Shamov V.V.** *Water balance of coniferous-deciduous forest ecosystems of Southern Sikhote-Alin in the period of restoration succession // Boreal forests in a changing world: challenges and needs for actions / Proc. of the 16<sup>th</sup> IBFRA. Aug. 15-21 2011, Krasnoyarsk, Russia. Krasnoyarsk: Sukachev Inst. of forest SB RAS, 2011. Pp. 79-80.*
53. **Шамов В.В.**, Левшина С.И., Ё М., Ониши Т., Матюшкина Л.А., Шибата Х., Кавихигаши М., Ямагата К., Оджи Б. *Поведение растворенного железа в лесных и болотных ландшафтах Среднеамурской низменности // Мат-лы науч.-практ. конф. «Регионы нового освоения: ресурсный потенциал и инновационные пути его использования», 19-22 сент. 2011 г., Хабаровск: Сб. докл. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2011. С. 87-89.*
54. **Shamov V.V.** and Onishi T. *Recent Climate Change in the Amur Basin and Its Feasible Effect on Riverine Iron Behavior // Proceedings 2<sup>nd</sup> International Meeting of Amur-Okhotsk Consortium. Sapporo, Hokkaido University, 2012. Pp. 27-34.*
55. **Шамов В.В.**, Ё М., Ониши Т., Левшина С.И., Матюшкина Л.А., Кавихигаши М., Ямагата К., Оджи Б. *Растворенное железо как индикатор ландшафтно-экологических условий в бассейне Амура // Современные проблемы регионального развития / Мат-лы IV Междунар. науч. конф. Биробиджан, 9-12 окт. 2012. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН. С. 46-47.*
56. **Shamov V.V.**, Gubareva T.S., Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K., Boldeskul A.G., Makagonova M.A. *Making basis for experimental studies of storm runoff generation in a small mountainous catchment // Studies of Hydrological Processes in Research Basins: Current Challenges and Prospects / Book of Abstracts 14th Bien. Conf. ERB, St. Petersburg, 17-20 Sept. 2012. St.-Petersburg, State Hydrological Institute Publ. Pp. 176-178.*
57. **Shamov V.V.**, Novorotskiy P.V., Gartsman B.I., Makagonova M.A. and Onishi T. *The climate-induced hydrological processes in the Amur Basin // Report of the Joint Research Cruise in the Amur River 2012. Amur-Okhotsk Consortium, Hokkaido Univ. Publ., Sapporo, 2013. Pp. 81-88.*
58. Boldeskul A.G., **Shamov V.V.**, Gartsman B.I., Kozhevnikova N.K., Gubareva T.S., Lutsenko T.N. *Chemical features of the local near-surface hydrological constituents (a case of a small catchment in Sikhote-Alin Mountains, Pacific Russia) // Horizons in Earth Science Research. 2015. Science Nova Publisher, NY. P. 153-170.*
59. **Шамов В.В.**, Гарцман Б.И., Шекман Е.А., Губарева Т.С., Тарбеева А.М., Челноков Г.А., Лупаков С.Ю., Кожевникова Н.К., Бурдуковский М.Л., Орляковский А.В. *Склоновый сток – ключевой компонент снеговых и дождевых паводков на горных реках // Мат-лы III Междунар. Симп. "Химия и физика снега". Южно-Сахалинск, 2–6 октября 2017. Часть I / Отв. ред. Н.А. Казаков. Южно-Сахалинск: Сахалинск. филиал ДВГИ*

ДВО РАН, 2017. С. 111–116.

60. **Shamov V.V.**, Gartsman B., Shekman E., Gubareva T., Tarbeeva A., Lupakov S., Chelnokov G., Kozhevnikova N., Burdukovskiy M.L., Orlyakovskiy A. *Tracer studies of preferential water flow paths in mountain slopes, Pacific Russia // Cold-region hydrology in a non-stationary world / Proceedings 21<sup>st</sup> Northern Research Basins Symposium and Workshop. Yakutsk, August 6–12, 2017. Yakutsk: Melnikov Permafrost Inst. Press, 2017. Pp. 113–122.*
61. **Шамов В.В.**, Токарев И.В., Михайлик Т.А., Козачек А.В. Содержание изотопов  $^2\text{H}$  и  $^{18}\text{O}$  в водах горных речных бассейнов Приморья, Дальний Восток России // Третьи Виноградовские чтения / Мат-лы науч.-практ. конф. СПб, 28-30 марта 2018. СПб: СПбГУ, 2018. С. 277-281.

Владимир Владимирович ШАМОВ

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ВЛАГООБОРОТА В ГЕОСИСТЕМАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Автореферат

Подписано к печати \_\_ \_\_\_\_ 2018 г.

Формат 60x84/16. Печать офсетная. Усл. п.л. 2,52. Уч.-изд. л. 2,0.

Тираж 195 экз. Заказ \_\_\_\_.

Отпечатано в типографии издательства «Дальнаука»

690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7