

На правах рукописи



**СЕЛЕЗНЕВ ДЕНИС ЕВГЕНЬЕВИЧ**

**ЕСТЕСТВЕННЫЙ ВНУТРИГОДОВОЙ СТОК БИОГЕННЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ РЕК БАССЕЙНА ФИНСКОГО ЗАЛИВА**

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

**Специальность 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле)**

Санкт-Петербург  
2016

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии факультета экологии и физики природной среды федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель:

**Шелутко Владислав Аркадьевич,**  
доктор географических наук,  
профессор, кафедра прикладной и системной экологии, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный консультант

**Третьяков Виктор Юрьевич,**  
кандидат географических наук,  
доцент, кафедра геоэкологии и природопользования, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»

Официальные оппоненты:

**Кондратьев Сергей Александрович,**  
доктор физико-математических наук,  
заместитель директора, ФГБУН «Институт озероведения»  
Российской академии наук  
Томилин Алексей Максимович,  
кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией Отдела географии полярных стран ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт»

Ведущая организация: Федеральное бюджетное учреждение «Государственный Гидрологический Институт»

Защита состоится «29» ноября 2016 г. в 15:30 на заседании Диссертационного Совета Д 212.197.03 при ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: 195027, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, 3, ауд. 207.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98 и на сайте учреждения <http://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного Совета



Е.П. Истомин

## **Общая характеристика работы**

### **Актуальность темы исследования**

Проблема антропогенного эвтрофирования является одной из важнейших проблем Балтийского моря и водоёмов его бассейна. Решениями Хельсинской комиссии определено, что эвтрофирование является главной проблемой Балтийского моря. При этом необходимо учитывать вклад природных (фоновых) источников в поступление биогенных элементов в экосистемы водных объектов как в целом за год, так и в определенные сезоны года. Данная работа посвящена определению специфики естественной внутригодовой изменчивости концентраций, а также объёмов стока минеральных форм азота и фосфора.

Очевидно, что разработка экологически обоснованных норм антропогенного воздействия является насущной проблемой современности. Также понятно, что каждая природная водная экосистема проточного водоёма или прибрежной морской акватории за длительный период своего существования приспособилась к вполне определённой внутригодовой изменчивости поступления биогенных элементов с бассейна водосбора. Антропогенное поступление биогенных элементов, которое также имеет свою собственную внутригодовую изменчивость, накладывается на динамику природного поступления, определяемую ландшафтным строением водосбора и внутригодовыми циклами функционирования его экосистем. Поэтому при определении норм антропогенного воздействия на водные экосистемы необходимо учитывать природную внутригодовую динамику содержания биогенных элементов, в значительной мере определяемую естественной внутригодовой изменчивостью поступления биогенных элементов с водосборного бассейна. Поэтому изучение естественной внутригодовой изменчивости содержания биогенных элементов в речном стоке является **актуальным.**

## **Степень разработанности проблемы**

Проблеме изменчивости концентраций и объемов стока биогенных элементов в речном стоке посвящены работы С.А. Кондратьева (2007, 2008), Г.Т. Фрумина и Е.В. Степановой (2009), Н.И. Хрисанова и Г.К. Осипова (1993), И.А. Шикломанова (1989), В.А. Шелутко и Е.С. Смыжовой (2006), В.А. Шелутко и Е.В. Колесниковой (2009) и др. В этих работах, в основном рассматривается межгодовая изменчивость концентраций и объёмов стока биогенных элементов. Вместе с тем до сих пор существует недостаток знаний как о внутригодовой динамике изменений концентраций и объёмов стока биогенных элементов, так и о её зависимости изменений от ландшафтного строения бассейнов водосбора.

## **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационного исследования является выявление особенностей естественной внутригодовой динамики концентраций и объёмов стока минерального азота и фосфора в реках российской части водосборного бассейна Финского залива. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- определить те реки бассейна Финского залива, на которых в 50-80-е годы XX века проводился мониторинг уровня и/или расхода **воды**, содержания азота и фосфора, водосборы которых можно рассматривать в качестве фоновых или условно фоновых;
- подразделить эти реки на группы на основании исследования особенностей ландшафтного строения их водосборов и климатических характеристик;
- выделить на основании данных о динамике среднесуточного уровня и/или суточного расхода каждой из выбранных рек внутригодовые гидрологические фазы для каждого года рассматриваемого периода мониторинга;
- отнести данные мониторинга содержания азота и фосфора к определённым внутригодовым гидрологическим фазам;

- исследовать межгодовую изменчивость содержания минерального азота и фосфора в речном стоке;
- исследовать внутригодовую изменчивость содержания минерального азота и фосфора для каждой из групп рек;
- построить и проанализировать обобщенные внутригодовые изменения концентраций и объёмов стока минерального азота и фосфора для каждой группы рек.

**Объектом исследования** являются реки российской части бассейна Финского залива, находящиеся в условиях минимального антропогенного воздействия.

**Предметом исследования** является внутригодовая динамика изменений концентраций и объёмов стока минеральных форм азота и фосфора в выбранных реках.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследований**  
 При выполнении исследований автором применялись статистические методы обработки численной информации, геоинформационные методы обработки картографической информации, методы Цобриста-Дейвиса, Г.Т. Фрумина, В.В. Бульона для определения близости концентраций азота и фосфора в речных водах к фоновым (природным) значениям. В качестве источника использованы данные мониторинга уровня (и/или расхода) и химического состава стока на постах Северо-Западного управления по гидрометеорологии и контролю окружающей среды (СЗУГМС) за 50-е – 80-е годы XX века, результаты личных исследований водных объектов Изборско-Мальской долины (Псковская область) и Государственного природного гидрологического (болотного) заказника «Болото Ламмин-Суо» (Карельский перешеек).

#### **Научные результаты, выносимые на защиту**

1. Методика выявления естественной внутригодовой динамики изменчивости стока биогенов с водосборов малых рек различного ландшафтного строения и их содержания в речном стоке.

2. Методика подразделения водосборов на однородные группы по особенностям ландшафтного строения водосборов выбранных рек и их климатических характеристик.
3. Способ отнесения данных мониторинга содержания биогенных элементов в реках к заранее выделенным внутригодовым гидрологическим фазам.
4. Результаты статистического анализа и исследования межгодовой изменчивости содержания минерального азота и фосфора в речном стоке по отдельным рекам и группам рек.

### **Научная новизна исследования**

С целью выявления особенностей формирования фоновых характеристик концентраций и объёмов стока минерального азота и фосфора:

- впервые разработана и применена методика комплексного геоэкологического районирования малых рек бассейна Финского залива по особенностям ландшафтного строения водосборов и их климатических характеристик;
- впервые разработана и применена методика выявления естественной внутригодовой динамики стока биогенов с водосборов малых рек различного ландшафтного строения;
- предложена совокупность приемов выделения рек бассейна Финского залива, водосборы которых можно рассматривать в качестве фоновых или условно фоновых по содержанию минеральных форм азота и фосфора;
- впервые получены обобщенные характеристики внутригодовой динамики концентраций и объёмов естественного стока минерального азота и фосфора для каждой группы малых рек бассейна Финского залива.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Полученные результаты могут использоваться при разработке экологически обоснованных норм антропогенного поступления азота и фосфора в водные экосистемы. Эти нормы должны учитывать естественный сток биогенных элементов с ненарушенных водосборов различного ландшафтного строения. Разработка данных норм предполагает использование

компьютерного имитационного моделирования функционирования водных экосистем.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что выявленные различия во внутригодовой естественной динамике изменений содержания азота и фосфора в речном стоке могут использоваться при имитационном моделировании функционирования водных экосистем проточных водоёмов и прибрежных морских акваторий, что позволит выявить теоретические различия в функционировании систем «водосбор – экосистема водного объекта».

Практическая значимость работы состоит в том, что её результаты могут быть использованы при создании информационной базы для оптимизации антропогенной биогенной нагрузки на экосистемы водоёмов и морских акваторий.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 25.00.36 «Геоэкология (Науки о Земле)» по пункту 1.14 «моделирование экологических процессов». Полученные данные могут быть использованы для установления экологически обоснованных норм воздействия на водные объекты, поэтому диссертация соответствует паспорту научной специальности 25.00.36 «Геоэкология (Науки о Земле)» по пунктам 1.9 «оценка состояния, изменений и управление ландшафтами», 1.12 «геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля».

#### **Апробация и реализация результатов исследования**

Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: 3-ей и 5-ой международных конференциях «Экологические и гидрометеорологические проблемы городов и промышленных зон» в 2005 и 2009 гг.; «AQUATERRA-2006»; на ежегодной международной конференции «День Балтийского моря» в 2009, 2010, 2011 годах; итоговых сессиях Ученого совета РГГМУ в 2006 и 2007 годах и СПбГУ в 2005 году. Результаты опубликованы в журналах «Балтийский регион» за 2011 год, «Вестник СПбГУ. Серия 7: география» за 2010 год, «Известия Русского

Географического Общества» за 2007 год, «Метеорологическом вестнике» за 2010 и 2012 годы, в электронном издании «Современные проблемы науки и образования» (2014), входящих в список Высшей аттестационной комиссии.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликована 21 научная работа, в том числе 4 публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 3 глав и выводов. Общий объем работы составляет 174 страницы, в ней содержится 77 рисунков и 33 таблицы. Список литературы включает 83 наименования.

### **Краткое содержание работы**

Во *введении* обосновывается актуальность темы, определяются цели и задачи исследования, изложена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В *главе 1* проведен обзор источников информации по тематике исследования.

В *главе 2* приведены методологические основы выявления особенностей естественной внутригодовой динамики стока азота и фосфора.

В *главе 3* рассмотрены особенности естественной внутригодовой динамики стока азота и фосфора в 25 реках бассейна Финского залива.

Для выявления физико-географических закономерностей характеристик водосборных бассейнов исследуемых рек, возможности подразделения водосборов на группы был выполнен анализ их физико-географических параметров. На рисунке 1 представлена схема расположения исследуемых рек, постов мониторинга и частных водосборов выше этих постов.

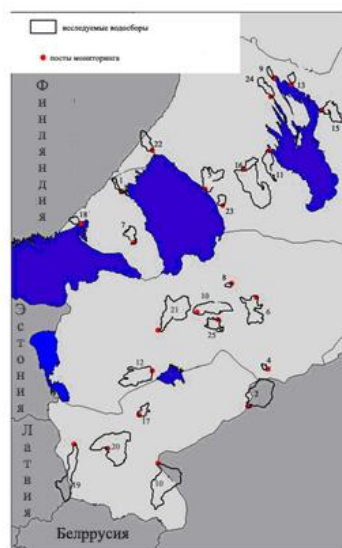


Рисунок 1. Схема расположения исследуемых рек, постов мониторинга и частных водосборов рек выше этих постов. Водосборы рек: (1 – Асилан-Йоки, 2 – Березайки, 3 – Важины, 4 – Вали, 5 – Видлицы, 6 – Воложбы, 7 – Волчьей, 8 – Голоховки, 9 – Кумсы, 10 – Куньи, 11 – Лососинки, 12 – Мшаги, 13 – Немины, 14 – Пчевжы, 15 – Пяльмы, 16 – Святерки, 17 – Северки, 18 – Селезневки, 19 – Синеи, 20 – Сороти, 21 – Тигоды, 22 – Тохма-Йоки, 23 – Туксы, 24 – Уницы, 25 – Шары)

Положение водосборов исследуемых рек на карте ландшафтных провинций показано на рисунке 2.

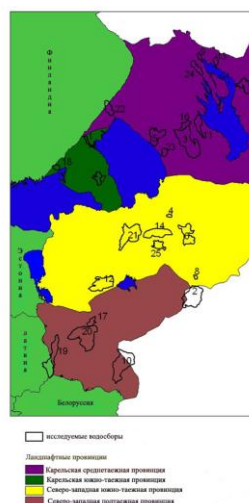


Рисунок 2. Расположение частных водосборов исследуемых рек в ландшафтных провинциях и подпровинциях

К Карельской южнотаёжной подпровинции относятся водосборы трёх рек: Асилан-Йоки, Волчьей, Селезневки; к Карельской среднетаёжной

подпровинции – водосборы 10 рек: Видлицы, Кумсы, Лососинки, Немины, Пчевжи, Пяльмы, Святерки, Тохма-Йоки, Туксы, Уницы; к Северо-Западной южно-таежной подпровинции – водосборы 7 рек: Важины, Вали, Воложбы, Голоховки, Мшаги, Тигоды, Шарьи; к Северо-Западной подтаежной провинции – водосборы 5 рек: Березайки, Куньи, Северки, Синеи, Сороти.

Сельскохозяйственная освоенность водосборных бассейнов исследуемых рек определялась в среде ГИС путём выполнения оверлейных операций наложения слоёв водосборов на векторизованную карту доли сельскохозяйственных земель по мезорегионам и картометрических операций расчёта площадей полигонов (рисунок 3).

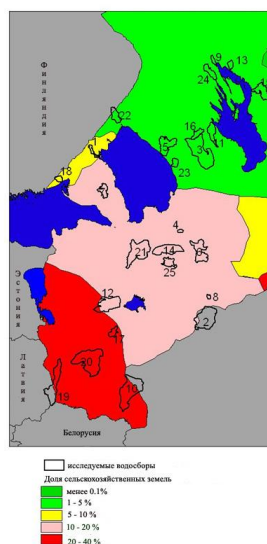


Рисунок 3. Расположение водосборов исследуемых рек в пространственных таксонах степени сельскохозяйственной освоенности

Водосборы 9 рек (Видлицы, Кумсы, Лососинки, Немины, Пяльмы, Святерки, Тохма-Йоки, Туксы, Уницы) имеют минимальную степень сельскохозяйственной освоенности, составляющую 1–5%; 2 рек (Асилан-Йоки и Селезневки) – 5-10%; 9 рек (Березайки, Важины, Вали, Воложбы, Волчьей, Голоховки, Пчевжи, Тигоды, Шарьи) – 10-20%. Около 80% водосбора реки Мшаги расположено в пределах мезорегиона с сельскохозяйственной освоенностью 10-20%, а около 20% – в мезорегионе с освоенностью 20-40%.

Водосборы 4 рек (Куньи, Северки, Синеи, Сороти) расположены в пределах мезорегиона со значительной сельскохозяйственной освоенностью, равной 20–40%.

По материалам приведенным в монографии А.Г. Исаченко (1995) определялась доля пашни в пределах водосборов исследуемых рек. Водосборы 12 рек (Асилан-Йоки, Важины, Видлицы, Кумсы, Лососинки, Немины, Пяльмы, Святерки, Селезневки, Тохма-Йоки, Туксы, Уницы) имеют долю пахотных земель 1-5%; бассейны 8 рек (Березайки, Вали, Воложбы, Волчьей, Голоховки, Пчевжи, Тигоды, Шарьи).

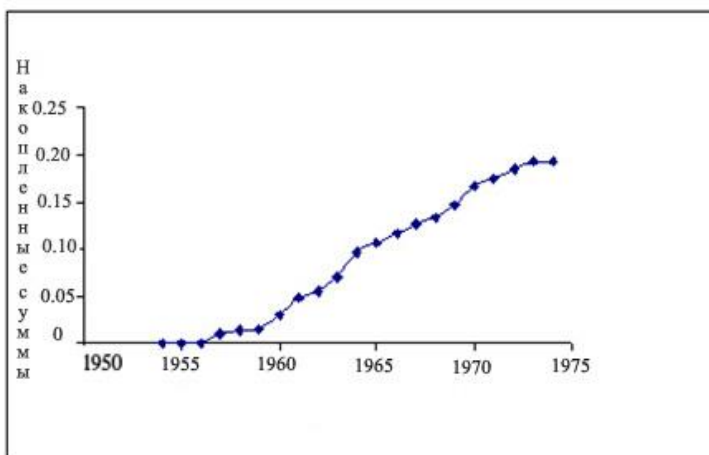
Для исследования освоенности водосборов была также проанализирована плотность сельского населения. Водосборы 16 рек (Асилан-Йоки, Березайки, Важины, Видлицы, Голоховки, Кумсы, Лососинки, Мшаги, Немины, Пяльмы, Святерки, Селезневки, Тохма-Йоки, Туксы, Уницы, Шарьи) расположены в пространственном таксоне с плотностью сельского населения 1-5 чел/км<sup>2</sup>; водосборы 6 рек (Вали, Волчьей, Куньи, Северки, Синеи, Сороти) имеют плотность сельского населения 5-10 чел/км<sup>2</sup>. Водосборы рек 2 рек (Пчевжи и Тигоды) приблизительно на 60% расположены в таксоне с плотностью сельского населения 5-10 чел/км<sup>2</sup>, а приблизительно на 40% - в таксоне с плотностью сельского населения 1-5 чел/км<sup>2</sup>. Около 40% водосбора реки Воложбы имеет плотность сельского населения 5-10 чел/км<sup>2</sup>, а около 60% - 1-5 человек на квадратный километр.

На основании пространственных характеристик (принадлежность к ландшафтной провинции, освоенность территории, лесистость территории, плотность сельского населения) водосборные бассейны были объединены в четыре группы: **I** – 5 водосборных бассейнов рек Кумсы, Немины, Пяльмы, Тохма-Йоки, Уницы; **II** – 3 водосборных бассейна рек Асилан-Йоки, Волчьей, Селезневки; **III** – 11 водосборных бассейнов рек Березайки, Важины, Вали, Видлицы, Воложбы, Голоховки, Лососинки, Пчевжи, Святерки, Тигоды, Туксы; **IV** – 5 водосборных бассейнов рек Куньи, Северки, Синеи, Сороти, Шарьи.

Отдельно выделен водосбор реки **Мшаги**, отличающийся неоднородностью пространственных характеристик.

Для оценки однородности концентраций минеральных форм азота и фосфора в речном стоке за время наблюдений был использован метод, основанный на анализе интегральных кривых. Примеры интегральных кривых приведены на рисунке 4.

а)



б)

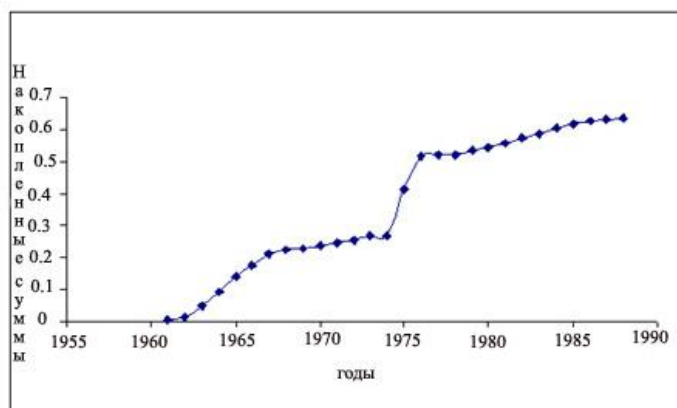


Рисунок 4. Примеры интегральных кривых среднегодовых концентраций минерального фосфора (а – р. Лососинка, б – р. Шарья)

У 5 рек (Волчьей, Лососинки, Северки, Селезневки, Мшаги) метод не выявил существенных изменений среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора. У остальных 20 исследованных рек были обнаружены

изломы интегральных кривых концентраций минеральных форм хотя бы одного из биогенных элементов. Поэтому для тех постов мониторинга, где на интегральных кривых среднегодовых концентраций наблюдались изломы, были проанализированы графики их межгодовой изменчивости. Было обнаружено, что большинство изломов связано с максимальными значениями среднегодовых концентраций, которые определялись малыми количествами отборов проб в течение года, произведёнными в периоды высоких уровней воды.

Для тех рек, у которых на интегральных кривых среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора были обнаружены изломы, был выполнен статистический анализ однородности среднегодовых концентраций. Периоды наблюдений разбивались в соответствии с изломами на интегральных кривых. Применённые критерии согласия подтвердили однородность среднегодовых концентраций минеральных форм азота и фосфора с вероятностью не менее 83% для всего периода мониторинга всех рек.

Для проверки предположения о влиянии поступления удобрений в народное хозяйство на содержание минеральных форм азота и фосфора в исследованных реках было выполнено определение значений коэффициентов парной корреляции между среднегодовым содержанием биогенных элементов в речном стоке и поступлением минеральных удобрений в сельское хозяйство. Для 10 рек (Асилан-Йоки, Березайки, Волчьей, Голоховки, Куньи, Лососинки, Селезневки, Синеи, Сороти, Шарьи) были рассчитаны коэффициенты парной корреляции отдельно между среднегодовым содержанием в речном стоке азота аммонийного, нитритного и нитратного, с одной стороны, и поступлением удобрений в сельское хозяйство с другой. Для 15 рек (Важины, Вали, Видлицы, Воложбы, Кумсы, Мшаги, Немины, Пчевжи, Пяльмы, Святерки, Северки, Тигоды, Тохма-Йоки, Туксы, Уницы) были рассчитаны коэффициенты парной корреляции между среднегодовым содержанием суммарного минерального азота и поступлением удобрений, так как для этих рек данные мониторинга за

ряд лет содержат сведения только о суммарном содержании минерального азота.

Для 20 рек значения коэффициентов парной корреляции оказались менее 0.5 по модулю, и только для 5 рек (Важины, Видлицы, Пяльмы, Святерки, Уницы) они составляют более 0.5, но менее 0.75. Это свидетельствует о наличии слабой связи между содержанием минеральных форм азота и фосфора в изучаемых реках и внесением удобрений.

Неотъемлемой частью определения динамики фоновых концентраций и стока минеральных форм азота и фосфора является определение антропогенной составляющей концентраций и объёма стока. В соответствии с методикой, предложенной Г.Т. Фруминым (Фрумин, 2000; Фрумин, Басова, Ковалева, 2001; Фрумин, Образцова, 2004; Фрумин, Аль Мурейш, 2009) были рассчитаны значения коэффициента антропогенного давления на водосборы исследуемых рек. Значения коэффициентов во всех случаях меньше 1, а в большинстве случаев меньше 0.5. Следовательно, антропогенное давление на водосборы существенно меньше среднемирового уровня.

Для проверки предположения о преобладании естественной составляющей в стоке минеральных форм азота и фосфора была выполнена проверка гипотезы о принадлежности концентраций биогенов в 25 исследованных реках и в реках Великой и Луге к одной генеральной совокупности, т.е. отсутствию значимых различий между ними. Известно, что в стоке биогенных элементов рек Великой и Луги преобладает антропогенная составляющая.

С помощью параметрических и непараметрических критериев однородности сравнивались концентрации минеральных форм азота и фосфора по данным мониторинга, их среднегодовые значения, средние квадратичные отклонения в 25 исследованных реках с одной стороны, и в реках Великой и Луге, с другой. Нулевая гипотеза об однородности данных была опровергнута. Таким образом, содержание минеральных форм азота и фосфора в исследованных реках существенно отличается от наблюдаемого в реках

Великой и Луге, которые подвержены значительному антропогенному воздействию. Поэтому можно предположить, что содержание минеральных форм азота и фосфора в исследованных реках близко к естественному фону.

Для выявления антропогенной составляющей в поступлении минеральных форм азота и фосфора со стоком исследованных рек был применён метод Цобриста-Дейвиса. Для определения степени близости концентраций к фоновым значениям они сравнивались с фоновым содержанием по литературным источникам. В качестве фоновых значений были приняты следующие значения, приведённые в публикациях Е.А. Примака и С.А. Кондратьева (Кондратьев, 2007; Кондратьев, 2008; Примак, 2009):  $N-NO_3^-$  – 0.4 мг/л;  $N-NO_2^-$  – 0.01 мг/л;  $N-NH_4^+$  – 0.6 мг/л;  $PO_4^-$  – 0.04 мг/л. Значения концентраций биогенных элементов в 25 исследованных реках не превышали фоновых концентраций.

Для водосборов восьми рек (Асилан-Йоки, Важины, Воложбы, Голоховки, Мшаги, Селезневки, Туксы, Шарьи) модуль годового стока общего фосфора в соответствии с лесистостью должен составлять 0.100 кгР/га\*год; 4-х рек (Видлицы, Лососинки, Святерки, Тигоды) – 0.113 кгР/га\*год; восьми рек (Вали, Волчьей, Кумсы, Немины, Пчевжи, Пяльмы, Уницы, Тохма-Йоки) – 0.125 кгР/га\*год; водосборов рек Северки и Березайки – 0.175 кгР/га\*год; водосборов рек Сороти, Синеи и Куньи – 0.200 кгР/га\*год.

Все определённые величины годовых модулей стока соответствуют фоновым значениям модулей, и значениям среднегодовых концентраций, которые приведены в работах Г.Т. Фрумина и Е.В. Степановой (Фрумин, Степанова, 2009). По значениям годовых модулей стока общего фосфора и площадей водосборных бассейнов нами были рассчитаны годовые объёмы стока общего фосфора, а делением этих величин на годовые расходы рек были получены среднегодовые концентрации общего фосфора в предположении его поступления только от природных источников.

В этом случае в реках Северке и Березайке среднегодовые концентрации общего фосфора должны равняться 0.013 мгР/л; Вале, Волчьей,

Кумсе, Немине, Пчевже, Пяльме, Унице, Тохма-Йоки – 0.015 мгР/л; Видлице, Лососинке, Святерке и Тигоде – 0.018 мгР/л; Асилан-Йоки, Важине, Воложке, Голоховке, Мшаге, Селезневке, Туксе и Шарье – 0.020 мгР/л; Кунье, Синеи и Сороти – 0.023 мгР/л. Все эти величины не превышают значений фоновых среднегодовых концентраций общего фосфора по публикациям С.А. Кондратьева и Е.А. Примак (Кондратьев, 2007; Кондратьев, 2008; Примак, 2009). При выборе в качестве показателей лесистости водосборов значений с карт лесистости по данным леспромхозов (Исаченко, 1995) нами также были получены близкие результаты.

В «Ежегодниках качества поверхностных вод» не для всех исследованных рек в период с 1955 по 1989 годы публиковались данные о содержании общего фосфора. Поэтому нами на основании данных о концентрациях фосфора фосфатов и общего фосфора были получены регрессионные зависимости, которые использовались в расчётах.

Для определения степени близости концентраций азота и фосфора в исследуемых реках к фоновым значениям также был использован метод В.В. Бульона, показавший близость концентраций в 25 исследованных реках к фоновому уровню (Г.Т. Фрумин, Е.В. Степанова, 2009а, 2009б, 2009в).

Натурные исследования содержания минеральных форм азота и фосфора в водотоках и водоёмах выполнялись нами на водотоках и водоёмах Изборского природно-архитектурного заповедника и в его окрестностях (Псковская обл.) во время летних сезонов 2002 – 2004 годов. Затем исследования были продолжены на водных объектах Государственного гидрологического болотного заказника «Ламмин-Суо» и в окрестностях поселка Ильичёво Выборгского района Ленинградской области в летние сезоны 2005 – 2008 гг.

Водные объекты Изборского природно-архитектурного заповедника и его окрестностей представляют собой каскадную систему водотоков и водоемов с преимущественно подземным питанием. Исследования проводились по всей каскадной системе на протяжении трех лет в летний период и включали

наблюдения за гидрохимическими характеристиками, а также за расходами рек. Наблюдались концентрации азота нитритов от следовых значений до 0.2 мгN/л, азота нитратов и аммонийного азота – от следовых концентраций до 0.2 мгN/л, фосфора фосфатов - от следовых концентраций до 0.54 мг/л.

По предложенной в монографии Н.И. Хрисанова и Г.К. Осипова (Хрисанов, Осипов, 1993) методике была определена степень антропогенного давления на водные объекты Изборско-Мальской долины. Площади угодий Изборско-Мальской долины и её окрестностей рассчитывались в среде ГИС по векторизованной карте природно-территориальных комплексов, созданной по материалам летних учебных практик (таблица 1). В результате была оценена поглотительная способность угодий Изборско-Мальской долины. На основании рассчитанных значений поглотительной способности угодий, отделяющих источники антропогенного поступления биогенных элементов от водной системы Изборско-Мальской долины, нами были определены количества азота и фосфора, которые могут поглощаться этими угодьями (таблица 2). Также на основании электронных карт по методике Хрисанова-Осипова был определён вынос азота и фосфора с селитебных территорий и пахотных земель (таблица 3).

Таблица 1

Площади различных угодий Изборско-Мальской долины

| Тип угодий            | Площадь, га |
|-----------------------|-------------|
| Лес                   | 32.4        |
| Луг                   | 39.6        |
| Болото                | 0.7         |
| Пашни                 | 18.9        |
| Селитебные территории | 6.4         |
| Старый Изборск        | 3.8         |
| Дер. Брод             | 0.7         |

Таблица 2

Поглотительная способность угодий Изборско-Мальской долины.

| Тип угодья | Азот, т/год | Фосфор, т/год |
|------------|-------------|---------------|
| Лес        | 1.36        | 0.67          |
| Луг        | 0.24        | 0.12          |
| Болото     | 0.23        | 0.13          |

Вынос азота и фосфора с селитебных территорий и агроценозов Изборско-  
Мальской долины

| Тип угодий            | Азот, т/год | Фосфор, т/год |
|-----------------------|-------------|---------------|
| Селитебные территории | 0.031       | 0.161         |
| Агроценозы            | 0.102       | 0.011         |

Таким образом, примыкающие к водным объектам природные угодья Изборско-Мальской долины практически полностью поглощают антропогенный сток азота и фосфора с сельскохозяйственных и селитебных территорий. Нами также была выполнена проверка гипотезы о принадлежности к одной генеральной совокупности концентраций минеральных форм азота и фосфора в водных объектах Изборско-Мальской долины и реках Луге и Великой. Применение критериев однородности опровергло нулевую гипотезу.

На основании выполненных исследований было сделано заключение, что содержание минеральных форм азота и фосфора в водных объектах Изборско-Мальской долины близко к фоновым значениям благодаря перехвату почвенно-поверхностного стока биогенов антропогенного происхождения примыкающими к водным объектам участками природной растительности. Это имеет место, несмотря на значительное использование территории долины в сельском хозяйстве и наличие обширных селитебных участков.

На Карельском перешейке нами были исследованы ручьи и озера болотного массива Ламмин-Суо, расположенного в пределах регионального гидрологического заказника в Ильичёвской волости Выборгского района Ленинградской области. Наблюдались концентрации азота нитратов от следовых значений до 0.156 мгN/л, азота нитритов – от следовых концентраций до 0.015 мгN/л, аммонийного азота – от следовых концентраций до 0.003 мгN/л, фосфора фосфатов – от следовых концентраций до 0.005 мгP/л.

Проверка принадлежности концентраций минеральных форм азота и фосфора в водных объектах заказника Ламмин-Суо и Изборско-Мальской долины к одной генеральной совокупности подтвердила эту нулевую гипотезу. Также нами была выполнена проверка на принадлежность к одной генеральной совокупности концентраций минеральных форм азота и фосфора в водных объектах болотного массива Ламмин-Суо с одной стороны, и в реках Луге и Великой, с другой. Применение критериев однородности опровергло данную нулевую гипотезу. Поэтому был сделан вывод, что содержание минеральных форм азота и фосфора в водных объектах регионального заказника Ламмин-Суо соответствует значениям природного фона.

Для определения характерных особенностей внутригодовой динамики содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке нами было выполнено выделение внутригодовых гидрологических фаз по данным мониторинга уровней и/или расходов исследуемых рек с 1960 по 1989 год. Выделение гидрологических фаз (периодов) производилось с помощью специального программного обеспечения, разработанного В.Ю. Третьяковым в среде создания приложений Delphi 6.0. Затем результаты мониторинга относились к конкретным гидрологическим фазам. Эта процедура выполнялась либо с помощью СУБД Microsoft Access, либо в среде ArcView с помощью специально разработанных приложений.

Для рек каждой группы была выполнена проверка однородности содержания минеральных форм азота и фосфора по гидрологическим периодам. Для анализа применялись параметрические критерии однородности Стьюдента и Фишера и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Всего выполнено 836 проверок гипотез о принадлежности данных к одной генеральной совокупности. С верностью не менее 84% было установлено отсутствие статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в одинаковые периоды внутригодового гидрологического цикла для рек каждой группы. Поэтому нами был сделан вывод о возможности объединения данных внутри групп рек для

построения обобщённых внутригодовых динамик минеральных форм азота и фосфора, определяемых особенностями водосборов.

Проверка значимости различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в различные гидрологические периоды производилась отдельно для каждой группы рек. В качестве критериев однородности применялись как параметрические критерии Стьюдента и Фишера, так и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Всего было выполнено 2720 проверок принадлежности групп значений к одной генеральной совокупности. Выяснилось, что существуют статистически значимые различия с верностью не менее 82% между содержанием минеральных форм азота и фосфора в разные гидрологические периоды для всех четырёх групп рек и реки Мшаги. Следовательно, внутригодовая изменчивость концентраций минеральных форм азота и фосфора объективно существует и определяется годовыми циклами экосистем водосборов.

Для определения существенности различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в реках, относящимся к разным группам, были выполнены сравнения групп значений, относящихся к одинаковым гидрологическим периодам у разных групп рек. Для анализа применялись параметрические критерии однородности Стьюдента и Фишера и непараметрические ранговые критерии Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки. Всего выполнено 640 проверок гипотез об однородности значений. С верностью не менее 89% было установлено существование статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в разных группах рек в одинаковые периоды внутригодового гидрологического цикла. Поэтому был сделан вывод о необходимости отдельного определения обобщённых внутригодовых динамик содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке для каждой из четырёх групп рек и реки Мшаги.

Для выявления особенностей внутригодовых изменений концентраций минеральных форм азота и фосфора в каждой группе рек была определена средняя продолжительность внутригодовых гидрологических фаз, средние сроки их начала и окончания, и средние концентрации минеральных форм азота и фосфора. Рассчитанные средние концентрации относились к серединам соответствующих гидрологических фаз, имеющим осреднённые даты начала и окончания. Средние концентрации для остальных суток года определялись интерполяцией. Обработка данных выполнялась с помощью ряда специально разработанных рабочих областей (программ) приложения Mathcad. Обобщенные внутригодовые динамики концентраций минеральных форм азота и фосфора определялись отдельно для каждой группы рек. Для определения доверительных интервалов обобщённых внутригодовых динамик содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке рассчитывались значения средних концентраций плюс-минус средние квадратичные отклонения (СКО) для каждой гидрологической фазы внутригодового цикла речного стока. Границы доверительных интервалов для остальных суток года также определялись интерполяцией.

Для построения графиков внутригодового распределения объёмов стока минеральных форм азота и фосфора использовались ранее рассчитанные значения концентраций биогенов и расходов рек. С этой целью средняя для группы рек концентрация, приходящаяся на определённую дату внутригодового цикла, умножалась на средний для этой даты расход группы рек. Средний годовой расход группы рек рассчитывался как средневзвешенное значение среднегодовых расходов всех рек, входящих в данную группу. Так были определены обобщённые внутригодовые динамики объёма стока минеральных форм азота и фосфора для четырёх групп рек и реки Мшаги. На рисунке 5 приведён пример графика стока азота нитратов, совмещённого с обобщённым внутригодовым ходом уровня воды.

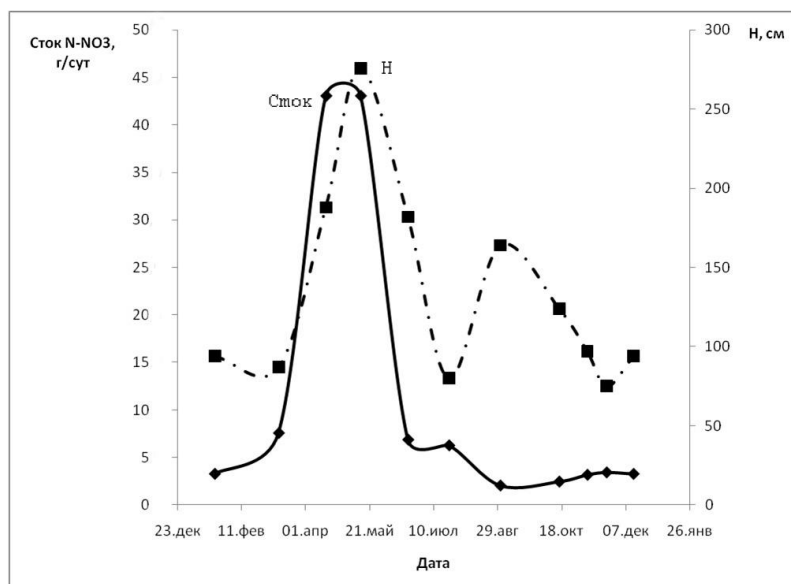


Рисунок 5. Внутригодовая динамика стока азота нитратов, III группа рек

Выше приведён вывод о существовании статистически значимых различий между концентрациями минеральных форм азота и фосфора в разных группах рек в одинаковые периоды внутригодового гидрологического цикла. Поэтому обобщённые внутригодовые динамики концентраций и объёмов стока биогенов для разных групп рек существенно различаются. На рисунке 6 приводятся обобщённые внутригодовые динамики концентраций и объёмов стока азота нитритов для 4-х групп рек и реки Мшаги. Высокие величины стока азота нитритов в группе рек IV связаны с большими значениями средневзвешенного расхода воды.

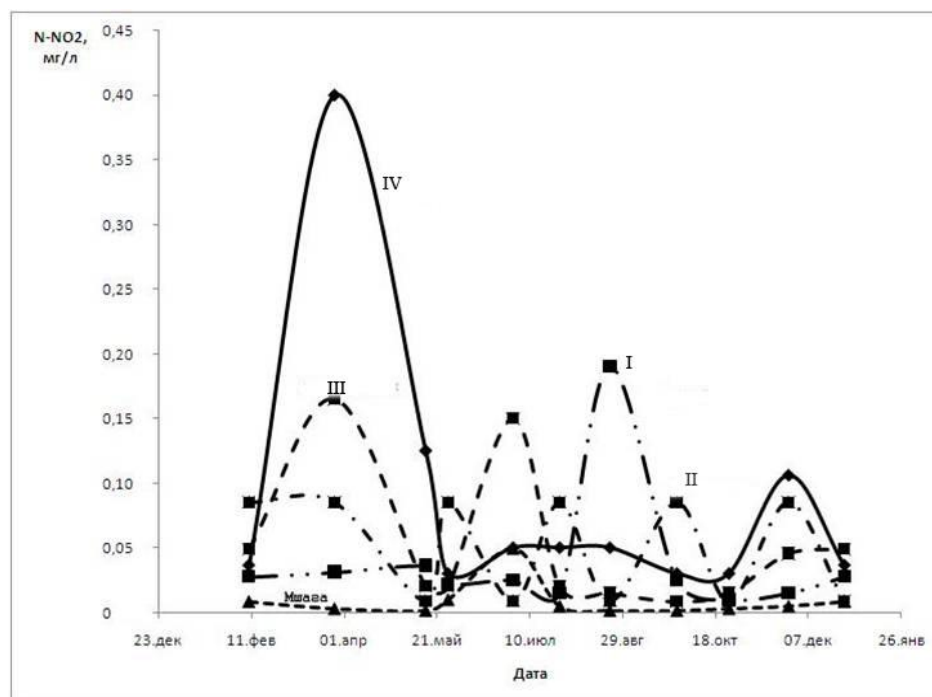


Рисунок 6. Обобщённый внутригодовой ход концентрации азота нитритов в водах всех групп рек

Анализ графиков внутригодовой изменчивости и принадлежности минимальных и максимальных концентраций к определённым гидрологическим периодам показал, что в подавляющем большинстве случаев максимальные значения концентраций и стока азота и фосфора в минеральной форме относятся к периодам половодья или паводка, а минимальные – к периодам летней межени или падения уровня в начале календарного года.

В *заключении* приведены основные выводы диссертационной работы:

1. Исследованные реки чётко подразделяются на четыре группы (I, II, III и IV), водосборы которых имеют близкие географические характеристики, отличные от характеристик водосборов рек других групп.
2. Разработана методика выявления естественной внутригодовой динамики изменений содержания минеральных форм азота и фосфора в речном стоке.
3. Водосборы всех исследованных рек можно отнести к водосборным бассейнам с минимальным антропогенным поступлением минеральных

форм азота и фосфора в речной сток. При анализе внутригодовой динамики содержания биогенных элементов в речном стоке их антропогенной составляющей можно пренебречь и рассматривать эту динамику как определяемую естественными причинами.

4. Определены обобщенные внутригодовые естественные динамики изменений концентраций минеральных форм азота и фосфора в реках бассейна Финского залива. Данные об этих изменениях могут использоваться в качестве внешних экологических факторов при компьютерном имитационном моделировании внутригодовых циклов функционирования водных экосистем, необходимом для определения экологически обоснованных норм антропогенного воздействия.
5. В большей части случаев максимумы обобщенных изменений внутригодовой динамики концентраций минеральных форм азота и фосфора для всех четырех групп рек и реки Мшаги приходятся на периоды максимальных уровней воды, а минимумы – на периоды минимальных уровней.
6. В большей части случаев максимумы обобщенной внутригодовой динамики объема стока минеральных форм азота и фосфора для всех четырех групп рек и реки Мшаги также приходятся на периоды максимальных уровней воды, а минимумы – на периоды минимальных уровней.

**Публикации:** По теме диссертации опубликовано 21 научная работа, в том числе 4 публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ.

**Список работ, в которых опубликованы основные положения  
диссертации**

**Статьи в журналах, рекомендованных ВАК**

1. Третьяков В.Ю., Селезнев Д.Е., Трушевский В.Л., Потапова Т.М. Современное гидроэкологическое состояние Изборско-Мальской долины как уникальной водосборной системы северо-запада России // Известия

- РГО, 2007, Т.139, вып.2. С. 33-41.
2. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Межгодовая изменчивость концентраций биогенных элементов в ряде рек бассейна Финского залива // Вестник Санкт-Петербургского университета, сер. 7 (геология, география). Выпуск 1. 2010, март. С 109-116.
  3. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Особенности стока биогенных элементов со слабо антропогенезированных водосборов бассейна Финского залива // Балтийский регион. 2011. 1(7). 71-77 с. Калининград, изд-во РГУ им. И. Канта, 2011.
  4. **Селезнев Д.Е.** Особенности внутригодовой изменчивости естественного стока минеральных форм азота и фосфора с водосбора Финского залива // Современные проблемы науки и образования, СПб: 2014, №4.
- 5. Остальные издания:**
6. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Формирование биогенного стока каскадной системой реки Обдех // Теория и практика эколого-географических исследований (Итоги научной работы Учебно-научного центра географии и геоэкологии в 2004 году)/Под ред. В.В. Дмитриева, А.И. Чистобаева, Т.А. Алиева, И.О. Шилова. СПб.: ТИН, 2005. С. 285-290.
  7. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Водосбор реки Обдех как фоновая территория формирования стока биогенов // Материалы межд. научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» 25-27 мая 2005 г. СПб, РГГМУ, 2005 (май).с. 95-96.
  8. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Сравнение содержания биогенных элементов в ряде водных объектов Северо-запада России // Итоговая сессия Ученого Совета РГГМУ 25-26 января 2006 г. Тезисы докладов. С. 91-92. СПб. РГГМУ, 2006.

9. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Концепция геоинформационной системы «Сток биогенных элементов» // Итоговая сессия Ученого Совета РГГМУ 25-26 января 2006 г. Тезисы докладов. С. 92-93. СПб. РГГМУ, 2006.
10. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Особенности формирования биогенного стока на водосборе системы реки Обдех // Тезисы докладов конф. «Акватерра». С.90-92. СПб, 14-15.06.2006.
11. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Разработка информационной системы «Внутригодовая изменчивость содержания биогенных элементов в реках российской части водосбора Балтийского моря» // Сборник тезисов VIII Международного экологического форума «День Балтийского моря». - СПб: ООО «Издательство «Диалог», 2007. С.570-571.
12. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Геоинформационная система «Изборск» // Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества. Сборник научных статей по материалам отчетных научно-практических конференций 2006-2007 гг. Под ред. Н.В. Каледина, В.В. Дмитриева, Т.А. Алиева. СПб, 2008. С. 186 – 189.
13. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Концепция научно-исследовательской работы «Влияние внутригодовой изменчивости поступления биогенных элементов с водосборных бассейнов различных ландшафтных таксонов на функционирование экосистем проточных водоемов» // Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества. Сборник научных статей по материалам отчетных научно-практических конференций 2006-2007 гг. Под ред. Н.В. Каледина, В.В. Дмитриева, Т.А. Алиева. СПб, 2008. С. 207 – 217.
14. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Санкт-Петербург как субъект глобального экологического кризиса в Балтийском регионе // Метеорологический вестник. № 1(1). 2008. С.61-67.
15. Третьяков В.Ю., **Селезнев Д.Е.** Выявление внутригодовой динамики стока биогенных элементов некоторых рек зоны повышенного увлажнения Восточно-Европейской равнины // Метеорологический

- вестник. № 1(2). 2009. Электронное издание Метеорологической комиссии Русского Географического общества. С. 51-61.
16. Третьяков В.Ю., Селезнев Д.Е. Выявление фоновых водосборов с преобладанием естественных ландшафтов и анализ их различий // Материалы V-ой международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». СПб, 7-9 июля 2009. РГГМУ, 2009. С.133-134.
  17. Третьяков В.Ю., Селезнев Д.Е. Выявление рек бассейна Финского залива с преобладанием естественной динамики стока биогенных элементов для использования данных их мониторинга при моделировании эвтрофикации // Сборник тезисов X Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб: ООО «Макси-Принт», 2009. С. 210.
  18. Третьяков В.Ю., Селезнев Д.Е. Анализ различий водосборов ряда рек бассейна Финского залива, на которых проводится мониторинг химического состава речного стока // Метеорологический вестник. 2010. Т. 3. № 3 (8). С. 7-24.
  19. Третьяков В.Ю., Селезнев Д.Е. Особенности естественного внутригодового стока биогенных элементов в реках бассейна Финского залива // Метеорологический вестник. 2012. Т. 4. № 1 (9). С. 155-270.
  20. Селезнев Д.Е. Внутригодовая изменчивость естественного стока биогенных элементов ряда рек водосбора Финского залива // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности». Часть 2. - Тамбов: 2014
  21. Селезнев Д.Е. Методика выявления естественной внутригодовой динамики концентраций и стока минеральных форм азота и фосфора // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты». Часть 1, - Тамбов: 2014.

22.Третьяков В.Ю., Шелутко В.А., **Селезнев Д.Е.** Методика формирования ансамблей внешних данных поступления биогенных элементов для моделирования состояния и функционирования водных экосистем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер.7, вып. 3, 2015. С. 118-128.