

## ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕК ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Родионов В. З., Дрегуло А. М., Кудрявцев А. В.

## ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE ECOLOGICAL STATE OF RIVERS IN THE LENINGRAD REGION

Rodionov V. Z., Dregulo A. M., Kudryavtsev A. V.

### Аннотация

**Введение.** Водные ресурсы Ленинградской области интенсивно используются в целях водоснабжения, обеспечения потребностей отраслей промышленности, сельского хозяйства, энергетики, судоходства, рыбоводства и рекреации. Проблема использования и охраны малых рек, малых озер, прудов и других естественных и искусственных звеньев гидрологической сети стала причиной появления «горячих экологических точек». **Материалы и методы.** В статье на примере малых рек Ленинградской области рассмотрены вопросы воздействия антропогенной деятельности и накопление экологического ущерба. Материалом для работы послужили ретроспективные и современные данные авторов и сторонних исследователей, позволившие охарактеризовать перспективы развития водного хозяйства Ленинградской области. **Результаты и обсуждение.** Результат исследования показал, что основной техногенный тип воздействия хозяйственной деятельности связан с перерабатывающими производствами и урбанизацией. Вместе с тем ухудшение состояния малых рек и водотоков на протяжении многих лет определялось их многоплановым использованием, а при растущем уровне экономической стагнации с 90-х годов прошлого столетия эти проблемы обострились. **Выводы.** Выходом из сложившейся ситуации является совершенствование деятельности управления непосредственно объектами природной среды. Сделан вывод о том, что управление объектами окружающей среды на водосборах рек предполагает совершенствование экономической деятельности и путем управления непосредственно объектами природной среды.

**Ключевые слова:** реки, Ленинградская область, антропогенное воздействие, развитие региона.

### Abstract

**Introduction.** Water resources of the Leningrad Region are intensively used to ensure water supply and meet the demands of agricultural and energy industries as well as demands related to navigation, fish farming and recreation activities. The problem of using and protecting small rivers, small lakes, ponds and other natural and artificial links of the hydrological network caused the emergence of “hot ecological spots”. **Materials and methods.** The paper addresses issues related to anthropogenic impact and accumulation of environmental damage using small rivers of the Leningrad Region as an example. The study is based on current and retrospective data of the authors and third-party researchers, which made it possible to define the development prospects of the water sector in the Leningrad Region. **Results and discussion.** According to the results of the study, the main type of anthropogenic impact related to economic activity is associated with processing enterprises and urbanization. Besides, for many years, the deterioration of the state of small rivers and watercourses has been determined by their multifaceted use, and with the growing economic stagnation since the 1990s, these problems only have worsened. **Conclusion.** As a way out, it is possible to improve the management of natural objects. The authors conclude that the management of environmental objects in river catchment areas implies the improvement of economic activity and the direct management of natural objects.

**Keywords:** rivers, Leningrad Region, anthropogenic impact, region development.

### Введение

С развитием индустрии и урбанизации территорий Ленинградской области связаны специфические типы использования земель: населенные пункты с промышленными предприятиями и жилыми кварталами, дороги, трубопроводы и другие инженерные сооружения. Распростране-

ние хозяйственных объектов социальной и промышленной инфраструктуры имеет очаговый характер, однако по интенсивности воздействия на ландшафты и на экологическую обстановку в бассейне малых рек техногенный тип значительно превосходит «доиндустриальный» тип и является качественно иным [4]. При этом если воз-

действие первого (техногенного) типа распределяется более или менее повсеместно в пределах площади водосбора, то второму (доиндустриальному) типу присуща тенденция распространения влияния очага далеко за его пределы, постепенно ослабевая по мере удаления от источника воздействия (промышленных предприятий, объектов муниципального хозяйства, автомобильных дорог т. д.). Эти источники воздействия имеют дискретно-точечный или линейный характер, в связи с чем на этих территориях уничтожаются не только природные биоценозы и почвы, но и видоизменяется местный климат и водный режим рек, отчасти и рельеф.

Воздействие промышленно-урбанизированных объектов (город, поселок, промышленная зона, завод, фабрика) на водотоки отражается качественно сходной геохимической ассоциацией, накапливающейся в донных отложениях (техногенных илах). Наиболее высокими коэффициентами концентрации загрязняющих веществ отличаются халькофильные элементы (обычно обладающие высокой токсичностью). В общем случае качественные и количественные параметры загрязнения водотоков (примерно равных порядков) в большей степени зависят от производственной инфраструктуры поселений, нежели от их размеров.

Мерой предотвращения загрязнения водных ресурсов должно было стать постановление СМ СССР № 868 от 08.10.80 «Об усилении охраны малых рек от загрязнения, засорения и истощения и о рациональном использовании их водных ресурсов». Однако до настоящего времени многие реки Ленинградской области характеризуются существенным уровнем техногенного загрязнения и опасной степенью его санитарно-токсикологической вредности [9], а значит, степень негативного воздействия не снижается порядка 30 лет. В условиях длительной техногенной нагрузки зонами повышенного экологического риска являются, прежде всего, прибрежные территории, уже в значительной степени деградированные. Эта зона насыщена промышленными предприятиями и характеризуется высокой плотностью населения. Здесь находятся агломерации Санкт-Петербурга, города Выборг, Сосновый Бор, Ломоносов, Кронштадт, нефтяные портовые терминалы в Высоцке, Приморске, Усть-Луге,

трассы промышленных продуктопроводов, промышленные предприятия и объекты рекреации [9], находящиеся в водосборной зоне восточной части Финского залива. Именно здесь оказывается максимальное влияние на состояние водной среды в результате хозяйственной деятельности.

**Цель настоящего исследования** — аналитический обзор работ по изучению влияния антропогенной деятельности на водосборы рек Ленинградской области с целью последующей оценки перспектив развития водного хозяйства Северо-Западного региона. При этом использованы как данные собственных наблюдений, так и результаты исследований других организаций за последние 20 лет.

**Реки Ленинградской области и их особенности.** Реки Ленинградской области по их режиму относятся к восточно-европейскому типу водного режима, для них характерно весеннее половодье с резким повышением уровня воды, летне-осенняя межень, прерываемая дождевыми паводками, преимущественно осенью, и низкая зимняя межень. Питание — смешанное, с преобладанием снегового и дождевого. В летнюю и зимнюю межень наблюдается наименьший сток в реках. В годовом стоке рек 50 % приходится на талые воды, 20–30 % на дождевые, 15–20 % на подземные. Однако, начиная с 1995–2000 гг., под влиянием климатических изменений формирование водного режима рек Ленинградской области несколько изменилось. Наблюдается снижение минимального стока рек в условиях продолжающегося потепления зим, что привело к снижению грунтовых вод в приводораздельной части речных бассейнов. При снижении обводненности в приводораздельных территориях происходит деградация малых рек, озер, исчезновение родников [3, 12]. При одних и тех же осадках в «теплые зимы» в течение ряда лет в приводораздельной части, где в основном располагаются малые реки, может происходить почвенная засуха из-за снижения уровня грунтовых вод, а в нижних частях — повышение уровня грунтовых вод и увеличение влажности почвы. Следствием изменения водного режима почво-грунтов является изменение ее свойств и генетического состава, а также смена типов растительности, так как излишняя влага или ее недостаток не позволяет развиваться большинству растений. При длительном стоянии

высоких уровней грунтовых вод происходит гниение корневой системы деревьев, в результате чего они усыхают. Следует отметить, что, помимо крупных рек Ленинградской области, малые реки обладают рядом специфических особенностей, позволяющих рассматривать их как самостоятельный объект исследований и хозяйственного использования. К этим особенностям относятся:

- резко выраженная зависимость режима стока и качество вод от ландшафта водосбора, любые изменения в котором сразу отражаются на малой реке;
- пониженная способность к естественному самоочищению;
- ухудшение качества воды в малых реках вызывают эти же явления в средних, крупных реках и озерах;
- изученность ресурсов малых рек, условий формирования их стока по количественным и качественным показателям крайне недостаточна, особенно в настоящее время в связи с резким сокращением гидрологической сети, воднобалансовых станций и парных бассейнов Госкомгидромета;
- водохозяйственное строительство на малых реках осуществлялось и осуществляется во многих случаях без увязки с перспективными планами развития территорий и др.

В результате интенсивного водопользования малые реки претерпели значительные преобразования — произошли изменения как годового стока, так и его внутригодового распределения. Изменился гидрохимический режим рек, вследствие чего многие из них были исключены из системы водохозяйственного использования. Причин такого изменения несколько: некоторые реки испытывают значительное воздействие сточных вод предприятий, другие претерпевают заиление вследствие уменьшения транспортирующей способности потока из-за отбора большого количества воды, третьи подвержены комплексному воздействию, включая сельскохозяйственное производство, мелиорацию земель, вырубку лесов, торфоразработки и т. д. на их водосборе. Эти воздействия накладывают заметный отпечаток на ландшафты, изменяя их первоначальное состояние. Однако эти изменения могут быть обратимыми после прекращения воздействия.

С точки зрения социально-экономических последствий воздействия этого типа хозяйственной деятельности до настоящего времени наиболее негативно сказывается на экономике из-за нерационального использования и истощения возобновляемых природных ресурсов и почти повсеместного сокращения древесного и другого растительного сырья, промысловых животных, органического и минерального вещества почвы и водных ресурсов.

Что касается экологического эффекта, то коренного изменения экологического потенциала ландшафта не происходит, но, как правило, качество жизненной среды в той или иной степени снижается из-за обезлесивания, ухудшения местного климата, уменьшения эстетической ценности ландшафта и др. [6, 7]. К особой категории антропогенных воздействий на ландшафты на водосборах малых рек Ленинградской области, направленных на сохранение, повышение и восстановление его ресурсного потенциала, относятся осушительная и оросительная мелиорация, лесовосстановление и агро-мелиорация и другие агротехнические мероприятия. Хозяйственная деятельность по данным направлениям до начала 2000-х представлена на рис. 1. Однако их положительный эффект пока не соизмерим с ущербом от нерациональной эксплуатации природных ресурсов вследствие незнания или игнорирования геосистемных связей и закономерностей [2, 7, 18]. В настоящее время динамика использования земельных площадей в Ленинградской области в период за 2010–2016 гг. показывает тенденцию к возрастанию [5].

Очевидно, что малые водосборы Ленинградской области с повсеместной хозяйственной деятельностью относятся к природно-хозяйственным геосистемам (ПХГС), в которых при взаимодействии природных и антропогенных факторов формируется антропогенный ландшафт [10]. В результате взаимодействия отдельных компонентов ПХГС в пределах речных водосборов возникают разнообразные гидролого-экологические цепи. По механизму функционирования они могут быть простыми и сложными, по простиранию — короткими и длинными, по времени действия — постоянными, прерывистыми, циклическими или временными.

Большое влияние на малые реки оказывают мероприятия по совершенствованию возрастной и популяционной структуры лесов, рациональное использование органических и минеральных удобрений на полях, создание буферных полос и залужение эрозионных участков и др. Для прибрежных территорий, расположенных в бассейнах малых рек, эффективными мероприятиями могут быть мероприятия по окультуриванию и рациональному использованию территорий пойм, расчистки и благоустройству родников, укрепление берегов и др. В данном случае основным механизмом воздействия на природную среду становится ландшафтно-геохимический механизм, который приводит в действие систему техногенной миграции химических элементов, затрагивающую практически все компоненты ландшафта, весомый вклад в который оказывают объекты накопленного экологического ущерба [16].

Сброс теплых вод ТЭС, АЭС и промышленных предприятий в реки приводит к зарастанию ранее не зарастающих русел рек высшей водной растительностью. Это в свою очередь приводит к подпору уровня воды на 0,3–0,6 м, что способствует заболачиванию припойменных участков.

В условиях антропогенного подогрева речных вод рыбы созревают раньше, но наблюдается их яловость и другие отклонения. Таким образом, хотя и действует один антропогенный фактор на водную среду, экологические последствия могут быть весьма разнообразными и непростыми.

В сложных цепях взаимодействий участвуют несколько факторов хозяйственной деятельности различной природы, и их прогноз является очень сложным делом. В коротких гидролого-экологических цепях влияние техногенного фактора можно проследить по изменению гидрологических характеристик, влияющих на жизнь и условия обитания гидробионтов, на расстоянии нескольких сот метров или нескольких километров, то есть их воздействие по простиранию носит локальный характер. Например, повышение температуры речных вод в районах сброса теплых вод ТЭС и АЭС. В длинных гидролого-экологических цепях влияние техногенного фактора прослеживается по изменению водных ресурсов и гидрологического режима на десятки и сотни и даже тысячи километров, и захватывают не только всю речную сеть, но и влияет на гидрологический режим водоприемников — озер

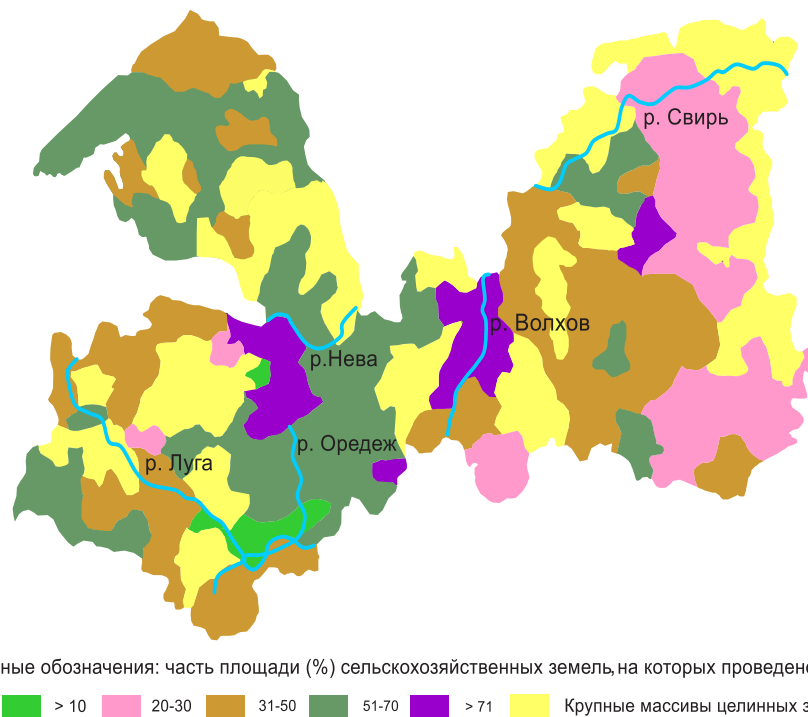


Рис. 1. Карта осушенности земель сельскохозяйственного назначения на территории Ленинградской области (часть площади (%))

и морей. Примером длинных гидролого-экологических цепей могут служить цепи, возникшие под влиянием комплекса факторов хозяйственной деятельности в бассейне Финский залив — р. Нева — Ладожское озеро. Для этого бассейна характерны интегративные гидролого-экологические цепи, то есть их природа обусловлена интегрирующим влиянием комплекса антропогенных факторов [21].

Существенную роль в изменении экологических условий речных систем играет антропогенное нарушение гидрорежимно-экологических цепей. Нарушение гидравлических характеристик потока: ширины, глубины русла, скорости течения, частоты колебания уровня, шероховатости дна и др., помимо уменьшения водности рек, связано также с созданием гидротехнических сооружений. Действие последних весьма разнообразно: от прямого перекрытия миграционных путей рыб плотиной до изменения газового и температурного режимов потока, а также его скорости. Так, нерациональный профиль водосливных отверстий плотины за счет аэрации потока приводит к обогащению азотом водных масс и отравлению азотом рыб. Прохождение планктона сквозь турбины ГЭС приводит к его частичной гибели и т. д.

Мелиорация болот и переувлажненных земель практически не изменяют водных ресурсов рек, а лишь в некоторой мере ведут к внутригодовому их перераспределению. Основное влияние этих мелиораций сводится к изменению гидрологического и гидрохимического режимов водотоков, водоемов, а также к изменению гидрогеологических условий осушаемых земель и прилегающих к ним территорий. В силу этого роль водноресурсно-экологических цепей практически не ощущается в экологических процессах на мелиорируемых территориях. На первый план выступают гидрорежимно-экологический, гидрохимико-экологические, гидрогеолого-почвенно-экологические цепи. При этом водно-экологический режим почв является наиболее сложной проблемой, так как в агроэкологическом и мелиоративном отношении одна и та же почва для одних культур может оказаться заболоченной, а для других — не заболоченной. Встает вопрос, каким образом дифференцировать отдельные виды почв.

Существует два подхода к его решению. Первый — морфологический, при котором деление почв на виды по степени гидроморфизма производится интуитивно; второй — эколого-гидрологический, основанный на анализе водного режима и свойств почв как среды обитания растений. Негативное влияние осушительных мелиораций особенно четко проявляется при массовом осушении больших территорий [2, 10].

#### **Методы и материалы**

**Проблемы природопользования на водосборах рек.** Нерациональное природопользование значительно ухудшило состояние водных ресурсов, особенно на водосборах малых рек. Для преодоления недостатков и снижения (ликвидации) прошлого экологического ущерба предлагается в рамках интегрированного управления водопользованием [15]:

- установка долгосрочных (со сроком достижения 15–20 лет) целей по параметрам состояния конкретного водного объекта (определяющие параметры состояния биоты при полном запрете сброса опасных веществ по списку) со всесторонним учетом природных особенностей и неустраняемых антропогенных факторов (сброс сточных вод к неустраняемым факторам не относится);
- нормирование сбросов на уровне наилучших доступных технологий (НДТ).

Если при внедрении выявляется невозможность достижения поставленной цели в заданные сроки, стимулируется разработка новых технологий или принимается политическое решение по перепрофилированию опасных предприятий. В Европейском Союзе такой подход воплотился в Рамочной водной директиве, направленной на предотвращение ухудшения состояния вод, в рамках которой были разработаны базовые принципы оценки экологического состояния экосистем. Этот документ декларирует пересмотр отношения к воде как только к гидроресурсу, и необходимости перехода к экосистемному управлению водными объектами. Решение этих вопросов и использование зарубежного опыта позволят улучшить качество водных ресурсов и предотвращать образование накопленного экологического вреда.

Чем эффективнее реализуются экономические механизмы управления природопользова-

нием, тем меньшей деградации подвергаются объекты окружающей среды, а следовательно, потребуется меньше средств на проведение мероприятий по управлению этими объектами и на ликвидацию накопленного экологического ущерба. Однако вопросы экономической оценки природных процессов представляют значительные трудности, так как эти процессы изменчивы и неоднозначны, и могут повлечь за собой ухудшение условий хозяйствования, потерю материальных и финансовых ресурсов. Для объективной оценки эффективности управления малыми реками используются различные критерии оценки экологического состояния водного объекта (экологические, экономические, эколого-экономические). Выбор и обоснование критериев эффективности природоохранного управления осуществляется на стадии обоснования и планирования хозяйственного использования территории водосборов с учетом требований сохранения, охраны и улучшения окружающей среды.

К экологическим критериям относятся:

- ПДК в контрольных створах реки, удовлетворяющие рыбохозяйственным требованиям или нормативам качества воды, предназначенной для питьевого водоснабжения;
- критерии, отражающие предельный уровень водопотребления из поверхностных вод;
- отношение среднего за период водопотребления отбора воды из реки и подземных горизонтов к расходу воды 80 % обеспеченности.

В качестве критериев, характеризующих эффективность мероприятий, проведенных на водосборе реки, используются оптимальные значения агрохимических показателей почвы, а также значения оптимальной лесистости, влагообеспеченности растительного покрова, предельной величины смыва почвы с сельскохозяйственных полей и др.

К экологическим критериям также относятся и социально-экономические: плотность населения в рассматриваемом бассейне, показания уровня заболеваемости людей и т. д.

В основу экономических критериев положен принцип минимизации затрат или максимум доходов при достижении запланированного результата, например, нормативного качества воды. Цель экологического безопасного управления малыми реками заключается в проведении комплекса природоохранных мероприятий на водо-

сборе, в речной сети и самих водных объектах, обеспечивающих оптимальное функционирование наземных и водных геосистем, различных отраслей народного хозяйства, а также удовлетворение рекреационных и эстетических потребностей человека водой требуемого количества и качества. Достижение этой цели должно основываться на профилактическом принципе, чтобы не допустить развития негативных процессов на водосборе и речной сети малых рек. В повседневной же практической природоохранной деятельности преобладает подход, ориентированный на ликвидацию последствий от различных антропогенных воздействий.

Эколого-экономические критерии используются при рассмотрении различных вариантов проведения водоохранных мероприятий, где на каждом этапе их проведения применяются сначала экологические критерии, а оптимальные варианты оцениваются по экономическим критериям. Эколого-экономические критерии наиболее полно отвечают сущности адаптивного управления природопользованием. Однако все перечисленные критерии несовершенны и требуют дальнейшего усовершенствования на основе выявления новых закономерностей протекания как природных, так и социально-экономических процессов, обуславливающих функционирование природно-хозяйственных систем различных пространственных масштабов.

**Примеры воздействия антропогенной деятельности на гидрологический режим рек.** Оценка влияния различных видов хозяйственной деятельности проводилась и в Ленинградской области. Например, на экспертном уровне была дана оценка влияния возможных изменений водных ресурсов области (под влиянием осушения минеральных земель, низинных болот, ликвидации мелколесья и др.) при разработке «Схемы мелиорации Ленинградской области до 1990–2000 гг.».

Анализ фактического состояния мелиоративного фонда и его трансформации в перспективе позволили определить его долю относительно площади речного бассейна. Перспективный фонд составлял на 2000-й год 2–10 % площади речных бассейнов. Расчеты выполнялись для 10 речных бассейнов Ленинградской области с площадями водосборов от 1000 до 6000 кв. км. Расчеты показали, что основная тенденция постмелиора-

тивных изменений водного баланса следующая. Увеличилась внутригодовая неравномерность распределения стока и суммарное испарение в бассейнах рек Ижора и Волхов, где осушение имело высокий удельный вес. Наибольшие изменения суммарного испарения ожидалось в период «сухого» года. В бассейне р. Ижоры — (+13 %), рек Волхов, Вуокса, Охта — (+10 %).

В период «влажного» года эти величины находились в пределах (+12–8 %), в период «среднего» (+9–4 %). Величина весеннего стока претерпевала изменения в пределах от +3 до +6 %, наибольший рост весеннего стока ожидалось в бассейнах р. Ижоры (+6 %), р. Охты и р. Волхова (+5 %). Сток летнего периода после осушения изменялся в зависимости от доли осушаемых территорий в общей площади бассейна, гидрологических условий и водности сезона. Во влажные годы он увеличивался в пределах +3 %, в средние годы изменений не наблюдалось, в сухие годы летний меженный сток мало изменялся. Имеются многочисленные исследования влияния мелиораций на гидрологический режим малых рек, в которых количественные характеристики рассмотренных изменений гидрологического режима индивидуальны для каждого водосбора и зависят от величины, климатических, гидрологических и гидрографических условий, особенности рельефа, степени заболоченности, типа болот, целей и способов их осушения, а также от характера последующего использования [20].

Другой метод, использованный в исследованиях, это анализ многолетних данных мониторинга качества поверхностных вод по контрольным створам, расположенным ниже населенных пунктов. Этот метод показывает, что ниже практически всех населенных пунктов Ленинградской области качество воды по гидрохимическим показателям изменялось от 3-го класса (загрязненные) до 5-го (экстремально загрязненные). Например, в работе [1] дана оценка влияния городских поселений на химический состав вод по показателям БПК<sub>5</sub>, характеризующим наличие в воде легких окисляемых органических веществ, обычно встречающихся в составе органических веществ в речных водах, дренирующих природные ландшафты, а также по показателям концентрации микроэлементов (Mn и Cu).

Это позволило провести оценку влияния городов, имеющих различные виды промышленности. Такое влияние неоднозначно для городов, имеющих комплекс промышленных предприятий различной направленности (химической, лесной, деревообрабатывающей, пищевой, легкой, цветной металлургии).

Оказалось, что в городах Ленинградской области, в которых развиты пищевая, деревообрабатывающая и химическая промышленность, расположенных на реках Вуокса (Лесогорская), Волхов (Кириши), Полисть (Старая Русса), Пярдомля (Бокситогорск), Ловать (Великие Луки), обнаружены существенные повышения значений концентраций БПК<sub>5</sub> при проходе реки через эти города. Например, на р. Вуокса БПК<sub>5</sub> до завода составил 0,8 мгО<sub>2</sub>/л, ниже города — 3,3 мгО<sub>2</sub>/л; на р. Полисть: до завода — 1,1 мгО<sub>2</sub>/л, ниже завода — 2,9 мгО<sub>2</sub>/л; на р. Великая: БПК<sub>5</sub> до завода — 1,9 мгО<sub>2</sub>/л, ниже — 3,8 мгО<sub>2</sub>/л и др. В то же время на реках Свирь, Луга, Плюсса, Шелонь отмечается отсутствие влияния городов на изменение концентрации БПК<sub>5</sub>. Значительное изменение в сторону повышения концентрации Mn и Cu после прохождения реки через города наблюдается на р. Вуоксе по Mn с 7,2 мкг/л до 17,9 мкг/л; по Cu — с 2,4 мкг/л до 4,5 мкг/л; на р. Свирь — по Mn с 15,8 мкг/л до 20,3 мкг/л, по Cu — с 2,6 мкг/л до 6,1 мкг/л; на р. Шелоне — по Mn с 9,9 мкг/л до 36,0 мкг/л, по Cu — с 1,7 мкг/л до 5,9 мкг/л и на р. Сясь — Mn увеличился с 4,7 мкг/л до 45,5 мкг/л, а Cu — с 3,1 мкг/л до 6,3 мкг/л и т. д.

Анализ данных [9] позволил определить характеристику динамики экологического состояния рек Ленинградской области по показателям  $K_{\text{комплексное}}^1$  и УКИЗВ<sup>2</sup> (рис. 2) показывает определенный рост загрязнения за период с 2010 по 2015 г. для рек Нева, Волхов, Вуокса, Пярдомля, Шарья. В остальных наблюдаемых реках динамика шестилетнего наблюдения показывает значительное снижение негативной нагрузки по всем показателям практически в 2 раза.

<sup>1</sup> Коэффициент комплексности загрязненности воды для каждого створа на реках и вертикали (станции) на водоемах.

<sup>2</sup> Относительно комплексный показатель степени загрязненности вод (безразмерная величина). Условно оценивает долю загрязняющего эффекта вносимого в общую степень загрязненности воды, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, в среднем одним из ингредиентов и показателей качества воды.

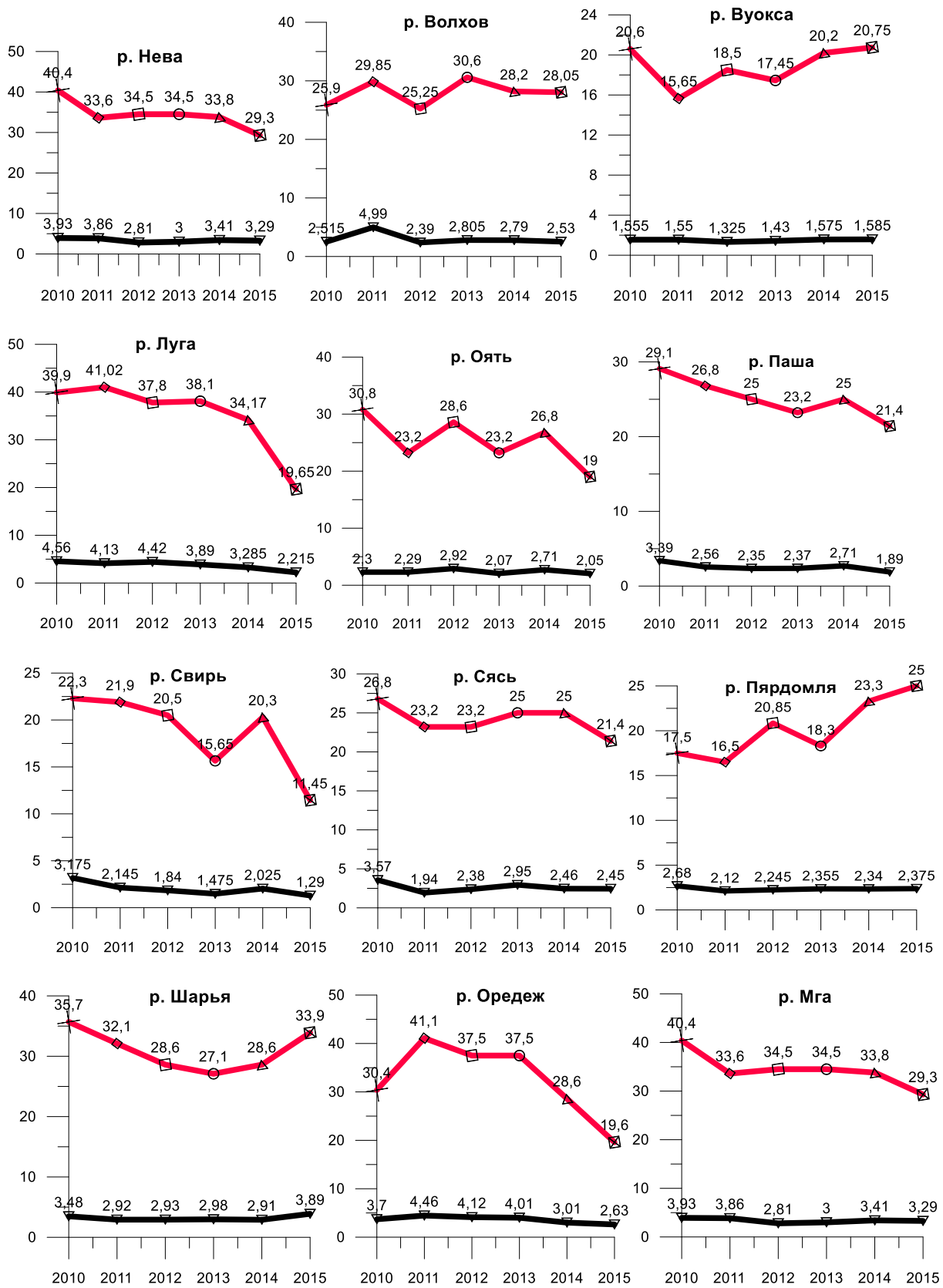


Рис. 2. Диаграммы динамики экологического состояния рек Ленинградской области: красная линия — показатель  $K_{\text{комплексное}} (\%)$  / черная линия — показатель УЗИВБ; ось X — значения показателей / ось Y — годы наблюдений



Согласно [22] качество вод в реках можно охарактеризовать от «слабо загрязненных» до «очень загрязненных». Колебательный вид кривых может свидетельствовать о стохастическом характере поступления загрязнений (не режимности или сезонного загрязнения).

Загрязнения водотоков будет неминуемо сопровождаться загрязнением донных отложений. Мониторинг загрязнений донных отложений исследуемых рек показал, что в донных отложениях рек Коваши, Луга, Оредеж по всем элементам наблюдается низкий индекс загрязнения донных отложений  $Z_c < 1$ . Максимально высокие значения индекса  $Z > 1$  для донных отложений рек Ижора, Волхов, Оять, Тихвинка, Приветная выявлены по кадмию. Река Вуокса имеет превышения по ртути и кобальту, реки Оять (Доможирово) и Свирь (Важины) — по ртути [9]. Качественные и количественные параметры геохимических ассоциаций сельскохозяйственных районов определяются спецификой хозяйственного использования водосборов, при этом значение имеет применение минеральных и органических удобрений, поступление сточных вод и отходов животноводства.

Для зон воздействия животноводческих комплексов типично интенсивное накопление в речных отложениях ртути, серебра, цинка, мышьяка, фосфора, в меньшей степени олова, молибдена, кадмия; для районов земледелия и комплексного сельскохозяйственного использования — фосфора и серебра, иногда мышьяка, марганца, олова, кадмия; в зонах влияния агропоселков — серебра и фосфора, в меньшей степени висмута, никеля, цинка, свинца; для дачных поселков — фосфора, олова, марганца, галлия.

Наибольшая степень санитарно-токсикологической вредности (опасная) и наиболее интенсивный уровень загрязнения (высокий) характерны для участков рек, испытывающих воздействие животноводческих комплексов. Водотоки других сельскохозяйственных территорий отличаются умеренной степенью санитарно-токсикологической вредности и преимущественно средним уровнем загрязнения.

## Результаты и обсуждение

Результаты исследования показали, что максимальное содержание нитратов наблюдается в сбросных водах с полей пригородных хозяйств. В загрязнении вод водотоков и атмосферных осадков тяжелыми металлами максимальной вариабельностью отличается цинк (Zn). Но его содержание больше связано с почвенным фактором, чем с атмосферными осадками [13, 15]. Значительная биогенная нагрузка наблюдается в пригородной зоне Санкт-Петербурга. Обнаружено повышенное содержание нитратов в подземных водах питьевых источников пригородов (Юкки, Новотоксово, Янино и др.), загрязнение Охтинского водохранилища и Суздальских озер, связанных с Финским заливом. За период 1975–2003 гг. выявлено увеличение концентраций фосфорных соединений в водотоках бассейнов рек Стрелки и Пижмы с дерново-карбонатными почвами, вероятно, в связи с многолетней аккумуляцией фосфорных удобрений (эффект прошлого экологического вреда). Исследования также показали, что гидрологический фактор, наряду с почвенным, играет важнейшую роль в управлении и оптимизации биогенной нагрузки.

Поступление биогенных элементов может увеличивать скорость эвтрофикации водных объектов, их заиления [23, 27]. Опасность попадания сточных вод и ухудшения качества воды на реках области создают расположенные в пределах водоохраных зон водосбросы, насосные канализационные станции, очистные сооружения, не справляющиеся с объемами поступающих стоков, обводнение отходов [24] а также автотранспортные магистрали [11] и трубопроводные системы [17]. Проблема обостряется тем, что сельскохозяйственные угодья, бывшие торфяные [8], лесохозяйственные и лесопромышленные разработки в таежной зоне Европейского Севера [19] как рассеянные диффузные или площадные источники [25] загрязнения вод бассейна Финского залива, являются самыми трудно прогнозируемыми и трудно управляемыми в связи с многофакторностью процесса выноса веществ в водные объекты. Поэтому деструктивные явления в почве, загрязненной отходами (например, высокая выживаемость патогенной и условно патогенной микрофлоры) [26], возрастающие при росте антропогенного воздействия, могут быть

сильно обусловлены региональными геохимическими режимами превращения вещества, связанного с атмосферой, грунтовыми и поверхностными водами, в почвенном покрове. Отсутствие данных мониторинга является лимитирующим фактором в оценке сельскохозяйственного земельного участка как источника биогенной нагрузки.

### Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что все виды антропогенного воздействия обуславливают формирование в малых реках геохимических аномалий. Наиболее ярко они проявляются в донных отложениях водотоков, где накапливаются определенные группы химических элементов — техногенные геохимические ассоциации, характеристики которых отражают важнейшие особенности техногенного загрязнения. Наблюдаются отчетливые различия в интенсивности концентрирования химических элементов и характере техногенных геохимических ассоциаций в донных отложениях водотоков промышленно-урбанизированных и сельскохозяйственных территорий.

Управление объектами окружающей среды на водосборах рек предполагает проведение мероприятий в природно-хозяйственных системах (лесах, сельскохозяйственных полях, болотах, селитебных территориях и др.), приводящих к улучшению их экологического состояния и функционирования. Выбор объектов управления определяется многими причинами и прежде всего расположением малой реки и ее водосбора в той или иной зоне, а также спецификой антропогенной деятельности.

Улучшение водного режима и качества воды малых рек в Ленинградской области связано в большей степени с внедрением экономических механизмов природопользования. Кроме того, любое антропогенное вмешательство на водосборах рек должно быть скомпенсировано либо процессами самоочищения и самовосстановления, либо путем целенаправленного управления снижающим отрицательное влияние воздействием. Это управление может осуществляться двумя основными способами: через совершенствование экономической деятельности и путем управления непосредственно объектами природной среды.

### Финансирование

Исследования выполнялись в рамках НИР «Систематизация, идентификация и методы оценки объектов прошлого экологического ущерба», номер государственной регистрации 0241-2014-0006.

### Литература

1. Алябина, Г. А. и Сорокин, И. Н. (2011). Влияние городских поселений на миграцию тяжелых металлов и легкоокисляемых органических соединений по основным притокам Финского залива и Ладожского озера. В: Сборник материалов XII Международного экологического форума «День Балтийского моря», 21–23 марта 2011. СПб.: ООО «Экология и бизнес», сс. 29–30.
2. Апарин, Б. Ф., Петров, В. Б. и Родионов, В. З. (1993) Природно-мелиоративные особенности Северо-Запада РСФСР и задачи мониторинга осушенных земель. В: Материалы II Всесоюзной конференции по природно-мелиоративному мониторингу, 30 сентября – 3 октября 1991. СПб.: РГО, сс.17–19.
3. Гуревич, Е. В. и Марков, М. Л. (2008). О гидрологическом аспекте сохранения и развития особо охраняемых природных территорий в северных районах России. В: Сборник докладов Третьей международной конференции «Особо охраняемые природные территории», 07 апреля 2017 года. СПб.: РГО, сс. 68–73.
4. Данилов-Данильян, В. И., Асарин, А. Е., Балонишников, Ж. А., Иванов, А. Л. и Прохорова, Н. Б. (2013). Задачи оптимального управления водными ресурсами в целях устойчивого развития регионов России. В: Тезисы пленарных докладов VII Всероссийского гидрологического съезда, 19–21 ноября 2013. СПб.: Роскомгидромет, сс. 33–42.
5. Джабраилова, Б. С. (2018). О предпосылках расширения землепользования сельскохозяйственных организаций Ленинградской области. Российский электронный научный журнал, № 2 (28), сс. 117–133.
6. Драбкова, В. Г. (ред.) (1983). Реакция экосистем озер на хозяйственное преобразование их водосборов. Л.: Наука, 240 с.
7. Исаченко, А. Г. (1995). Экологическая география Северо-запада России. В 2 частях. Часть 1. СПб.: РГО, 208 с.
8. Карпечко, Ю. В. и Бондарик, Н. Л. (2010). Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 225 с.
9. Комитет по природным ресурсам Ленинградской области (2017). Состояние окружающей среды в Ленинградской области. Информационно-аналитический сборник. СПб.: Свое издательство, 306 с.
10. Леонов, Е. А. и Родионов, В. З. (1990). Гидролого-экологические аспекты мелиоративных мероприятий. В: Сборник научных трудов «Оптимизация природной среды в условиях мелиорации земель». М.: Издательство Московского филиала ГО СССР, сс. 93–103.

11. Леонов, Е. А., Леонов, В. Е. и Родионов, В. З. (1998). Воздействие автотранспортных магистралей на водные объекты и защитная роль водоохранных зон. В: Сборник материалов VI Горно-геологического форума «Природные ресурсы стран СНГ», 17–20 ноября 1998. СПб., сс. 218–219.
12. Марков, М. Л., Гуревич, Е. В. и Воронюк, Г. Ю. (2017). Изменения минимального стока рек в условиях современного климата. В: Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы», 19–20 декабря 2017. СПб.: Графф +, сс. 328–330.
13. Немчинова, Н. И. и Кудряшова, В. Г. (2008). Оценка факторов и уровня выноса биогенных веществ со сбросными водами эксплуатируемых мелиоративных систем. Известия СПбГАУ, № 10, сс. 18–21.
14. Немчинова, Н. И., Суханов, П. А. и Комарова, А. А. (2011). О состоянии и перспективах развития сети мониторинга агроландшафтов в оценке выноса загрязняющих веществ в водоемы. Сборник материалов XII Международного форума «День Балтийского моря». СПб.: ОО «Экология и бизнес», с. 492.
15. Никаноров, А. М., Черногаева, Г. М. и Беляев, С. Д. (2013). Фундаментальные и прикладные проблемы качества поверхностных водных ресурсов. В: Тезисы пленарных докладов VII Всероссийского гидрологического съезда, 19–21 ноября 2013. СПб.: Роскомгидромет, сс. 43–53.
16. Питулько, В. М., Кулибаба, В. В. и Дрегуло, А. М. (2016). Экологические риски Северо-Западного региона в связи с объектами прошлого накопленного ущерба. Региональная экология, № 1 (43), сс. 28–37.
17. Родионов, В. З. (1999). Экологические проблемы Балтийской трубопроводной системы на примере продуктопровода Кириши – бухта Батарейная. В: Сборник материалов VII Международного форума «Природные ресурсы стран СНГ», 9–12 ноября 1999 г. СПб., сс. 115–116.
18. Родионов, В. З. (2017). Причины возникновения накопленного в прошлом экологического ущерба осушительных мелиораций в Нечерноземной зоне РФ. Региональная экология, № 4 (50), сс. 91–100.
19. Родионов, В. З. (2017). Разработка торфяных месторождений в Ленинградской области (проблемы и решения). Региональная экология, № 3 (49), сс. 59–64.
20. Софер, М. Г. (1981). Оценка преобразования водного баланса речных бассейнов Ленинградской области при освоении мелиоративного фонда. В: Тезисы докладов научно-технической конференции «Проблемы рационального использования водных ресурсов малых рек». Казань: б. и., сс. 44–45.
21. Усанов, Б. П., Михайленко, Р. Р. и Родионов, В. З. (1995). Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербургского региона. В: Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы деятельности атомной промышленности и вооруженных сил России». Москва, с. 114.
22. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (2002). РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. [online] Доступно по ссылке: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293831/4293831806.pdf> (Дата обращения 04.06.2019).
23. Dregulo, A. M., Kudryavtsev, A. V. (2018). Transformation of techno-natural systems of water treatment to objects of past environmental damage: peculiarities of the legal and regulatory framework. *Water and Ecology*, No. 3, pp. 54–62. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.3.54-62.
24. Dregulo, A. M. (2019). Identification and prediction of climatic loads for design and operation of drying beds. *Water and Ecology*, No. 1, pp. 35–43. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.1.35-43.
25. Dregulo, A. M. and Vitkovskaya, R. F. (2018). Microbiological Evaluation of Soils of Sites with Accumulated Ecological Damage (Sewage Dumps). *Fibre Chemistry*, Volume 50, Issue 3, pp. 243–247. DOI: 10.1007/s10692-018-9969-0.
26. Dregulo, A. M., Pitulko, V. M., Rodionov, V. Z., Kulibaba, V. V., Petukhov V. V. Geocological evaluation of environmental damage to the results of long-term dynamics of Benzopyrene and petroleum within landfill sludge. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 321, P. 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/321/1/012037.
27. Neverova-Dziopak, E., Tsvetkova, L. I. (2018). Reclamation methods for eutrophicated water bodies. *Water and Ecology*, No. 1, pp. 65–70. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.23.1.65-70.

#### References

1. Alyabina, G. A. and Sorokin, I. N. (2011). Impact of urban settlements on the migration of heavy metals and easily oxidized organic compounds along the main tributaries of the Gulf of Finland and Lake Ladoga. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Environmental Forum “Baltic Sea Day”, March 21–23, 2011. Saint Petersburg: ОО “Ecology and Business”, pp. 29–30.
2. Aparin, B. F., Petrov, V. B. and Rodionov, V. Z. (1993). Natural reclamation features of the North-West of the RSFSR and tasks of monitoring drained lands. In: Proceedings of the 2<sup>nd</sup> All-Union Conference for Natural Reclamation Monitoring, September 30 – October 3, 1991. Saint Petersburg: Russian Geographical Society, pp. 17–19.
3. Gurevich, Ye. V. and Markov, M. L. (2008). On the hydrological aspect of the preservation and development of specially protected natural areas in the northern regions of Russia. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference “Specially Protected Natural Areas”, 07 April 2017. Saint Petersburg: Russian Geographical Society, pp. 68–73.
4. Danilov-Danilyan, V. I., Asarin, A. Ye., Balonishnikova, Zh. A., Ivanov, A. L. and Prokhorova, N. B. (2013). Challenges of optimal water resource management for the sustainable development of Russian regions. In: Abstracts of plenary papers presented at the 7<sup>th</sup> All-Russian Hydrogeological Congress, November 19–21, 2013. Saint Petersburg: Russian Committee for Hydrometeorology, pp. 33–42.
5. Dzhabrailova, B. S. (2018). Preconditions for extensive land use on farms of Leningrad region. *Russian Electronic Scientific Journal*, No. 2 (28), pp. 117–133.
6. Drabkova, V. G. (ed.) (1983). Reaction of lake ecosystems to economic transformations in their catchment areas. Leningrad: Nauka, 240 p.

7. Isachenko, A. G. (1995). Ecological geography of the North-West of Russia. In 2 parts. Part 1. Saint Petersburg: Russian Geographical Society, 208 p.
8. Karpechko, Yu. V. and Bondarik, N. L. (2010). Hydrological role of forest management and forest industry activities in the taiga zone of the European North of Russia. Petrozavodsk: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 225 p.
9. Committee on Natural Resources of the Leningrad Region (2017). State of the environment in the Leningrad Region. Information and analytical collection of materials. Saint Petersburg: Svoe Izdatelstvo, 306 p.
10. Leonov, Ye. A. and Rodionov, V. Z. (1990). Hydrological and environmental aspects of land reclamation activities. In: Collection of scientific papers "Optimization of the natural environment under conditions of land reclamation". Moscow: Publishing House of the Moscow Branch of the USSR Geographical Society, pp. 93–103.
11. Leonov, Ye. A., Leonov, V. Ye. and Rodionov, V. Z. (1998). Impact of highways on water bodies and the protective role of water protection zones. In: Proceedings of the 6<sup>th</sup> Mining-and-Geological Forum "Natural Resources of CIS countries", November 17–20, 1998. Saint Petersburg, pp. 218–219.
12. Markov, M. L., Gurevich, E. V. and Voronyuk, G. Yu. (2017). Changes in the minimum flow of rivers in today's climate. In: Proceedings of the Russian National Conference "Hydrometeorology and Ecology: Scientific and Educational Achievements and Perspectives". Saint Petersburg: Agraf+, pp. 328–330.
13. Nemchinova, N. I. and Kudryashova, V. G. (2008). Assessment of factors and the level of nutrient removal with wastewater from operated melioration systems. *Izvestiya SPbGAU*, No. 10, pp. 18–21.
14. Nemchinova, N. I., Sukhanov, P. A. and Komarova, A. A. (2011). On the state and prospects of developing a network for the monitoring of agricultural landscapes in the assessment of pollutants' export of pollutants to water bodies. In: Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Environmental Forum "Baltic Sea Day". Saint Petersburg: OO "Ecology and Business", p. 492.
15. Nikanorov, A. M., Chernogayeva, G. M. and Belyayev, S. D. (2013). Fundamental and applied problems of surface water resources' quality. In: Abstracts of plenary papers presented at the 7<sup>th</sup> All-Russian Hydrogeological Congress, November 19–21, 2013. Saint Petersburg: Russian Committee for Hydrometeorology, pp. 43–53.
16. Pitul'ko, V. M., Kulibaba, V. V. and Dregulo, A. M. (2016). Environmental risks in the North-West region resulting from the accumulated past ecological damage objects. *Regional Ecology*, No. 1 (43), pp. 28–37.
17. Rodionov, V. Z. (1999) Environmental problems of the Baltic Pipeline System using the Kirishi–Batareynaya Bay product pipeline as an example. In: Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Forum "Natural Resources of CIS Countries", November 9–12, 1999. Saint Petersburg, pp. 115–116.
18. Rodionov, V. Z. (2017). Causes of the occurrence of past (accumulated) environmental damage from drainage meliorations in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Regional Ecology*, No. 4 (50), pp. 91–100.
19. Rodionov, V. Z. (2017). Development of peat deposits in the Leningrad Oblast: problems and solutions. *Regional Ecology*, No. 3 (49), pp. 59–64.
20. Sofer, M. G. (1981). Assessment of water balance transformation in river basins of the Leningrad Region during the development of the meliorative fund. In: Abstracts of papers presented at the Scientific and Technical Conference "Issues of the Rational Use of Small Rivers' Water Resources". Kazan: s. n., pp. 44–45.
21. Usanov, B. P., Mikhaylenko, R. R. and Rodionov, V. Z. (1995). Integrated water resource management in the St. Petersburg region. In: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems Related to Activities of the Nuclear Industry and Armed Forces of Russia". Moscow, p.114.
22. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2002). Regulatory Document RD 52.24.643–2002. Method for the integrated assessment of the degree of surface waters' contamination by hydrochemical parameters. [online] Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293831/4293831806.pdf> (Date accessed 04.06.2019).
23. Dregulo, A. M., Kudryavtsev, A. V. (2018). Transformation of techno-natural systems of water treatment to objects of past environmental damage: peculiarities of the legal and regulatory framework. *Water and Ecology*, No. 3, pp. 54–62. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.3.54-62.
24. Dregulo, A. M. (2019). Identification and prediction of climatic loads for design and operation of drying beds. *Water and Ecology*, No. 1, pp. 35–43. DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.1.35-43.
25. Dregulo, A. M. and Vitkovskaya, R. F. (2018). Microbiological Evaluation of Soils of Sites with Accumulated Ecological Damage (Sewage Dumps). *Fibre Chemistry*, Volume 50, Issue 3, pp. 243–247. DOI: 10.1007/s10692-018-9969-0.
26. Dregulo, A. M., Pitulko, V. M., Rodionov, V. Z., Kulibaba, V. V., Petukhov V. V. Geoecological evaluation of environmental damage to the results of long-term dynamics of Benzopyrene and petroleum within landfill sludge. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 321, P. 012037. DOI: 10.1088/1755-1315/321/1/012037.
27. Neverova-Dziopak, E., Tsvetkova, L. I. (2018). Reclamation methods for eutrophicated water bodies. *Water and Ecology*, No. 1, pp. 65–70. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.23.1.65-70.

**Авторы:**

**Родионов Владимир Зинович**, канд. геогр. наук  
 Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр  
 экологической безопасности Российской академии наук,  
 Санкт-Петербург, Россия  
 E-mail: rodionov1941@mail.ru

**Дрегуло Андрей Михайлович**, канд. биол. наук  
 Санкт-Петербургский государственный университет,  
 Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр  
 экологической безопасности Российской академии наук,  
 Санкт-Петербургский государственный университет  
 промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург,  
 Россия  
 E-mail: a.dregulo@spbu.ru; adregulo@bk.ru

**Кудрявцев Анатолий Валентинович**, канд. техн. наук,  
доцент

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-  
строительный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: argo14@mail.ru

**Authors**

**Rodionov Vladimir Zenonovich**, PhD in Geography  
Scientific Research Center for Ecological Safety of the  
Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg (ex Leningrad),  
Russian Federation

E-mail: rodionov1941@mail.ru

**Dregulo Andrey Mikhailovich**, PhD in Biology  
Saint-Petersburg State University,  
Scientific research center for ecological safety of the Russian  
academy of sciences,

Saint-Petersburg State University industrial technologies  
and design, Saint Petersburg, Russia

E-mail: a.dregulo@spbu.ru; adregulo@bk.ru

**Kudryavtsev Anatoly Valentinovich**, PhD in Engineering,  
Associate Professor

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil  
Engineering, Saint Petersburg, Russia

E-mail: ARGO14@mail.ru