Научная статья
УДК 330.15
doi: 10.55186/25876740_2022_65_1_42

# О МЕРАХ ПО СНИЖЕНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

**М.А. Пономарев, Н.А. Никонова, А.Г. Никонов, Х.А. Дибирова**
Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

***Аннотация.*** В статье рассматриваются агроэкологические мероприятия, способствующие снижению степени антропогенной нагрузки на водные объекты в водосборе Балтийского моря. Цель исследования состоит в анализе особенностей и возможности применения экологических мероприятий по предотвращению эвтрофикации в ходе сельскохозяйственной деятельности. Представлена схема управления водными ресурсами в Ленинградской области, а также организационный механизм внедрения природоохранных мер в сфере управления водными ресурсами на сельских территориях. Показаны характеристики и география распространения таких экологических мер, как создание искусственного ветланда, системы двойного регулирования водного режима почв, интеллектуальных буферных зон, осадочного пруда (отстойника) для фосфора, двухступенчатой канавы, применение структурного известкования, фильтровальной канавы (с известью) для снижения биогенной нагрузки на водные объекты пилотной территории. Возможность применения проектных мероприятий оценивалась применительно к условиям опытного поля Меньковского филиала ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», расположенного в Гатчинском районе Ленинградской области. Определены основные преимущества экологических мероприятий и существующие ограничения для их применения. Сделан вывод, что сдерживающими факторами выступают значительные инвестиционные затраты и срок окупаемости проектов, что не способствует повсеместному внедрению данных технологий на практике. Для стимулирования использования предлагаемых экологических мер в первую очередь необходимо распространить бюджетное субсидирование затрат на экологические мероприятия в виде софинансирования части вложенных товаропроизводителями средств. Дополнительно необходима организация постоянного экологического мониторинга в ходе сельскохозяйственной деятельности, усиление научно-просветительской работы с предпринимателями, населением и подготовка специалистов-агроэкологов.

***Ключевые слова:*** водные ресурсы, эвтрофикация, агроэкологические меры, экологическая эффективность, сельскохозяйственная деятельность, Балтийское море

***Благодарности:*** авторы выражают благодарность за финансовую поддержку проведенного исследования Программе «Интеррег. Регион Балтийского моря» 2014-2020 (программа трансграничного сотрудничества России, государств-членов ЕС и Норвегии, нацеленная на укрепление межрегионального сотрудничества, развития инновационного, транспортного и экологического потенциала региона Балтийского моря), а также участникам международного проекта WATERDRIVE #R094, реализуемого в рамках данной Программы в Ленинградской и Калининградской областях России, за плодотворное сотрудничество, обмен опытом и полезными идеями по сохранению природной среды сельских территорий.

Original article

# ABOUT THE MEASURES REDUCING ENVIRONMENTAL LOAD TO THE WATER RESOURCES OF THE BALTIC SEA

**M.A. Ponomarev, N.A. Nikonova, A.G. Nikonov, Kh.A. Dibirova**
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Saint-Petersburg, Russia

***Abstract.*** The article discusses agroecological measures to reduce the anthropogenic load on water bodies in the catchment area of the Baltic Sea. The purpose of the study is to analyze the features and the possibility of applying environmental measures to prevent eutrophication in the course of agricultural activities. The scheme of water resources management in the Leningrad region is presented, as well as the organizational mechanism of water management in rural areas for the implementation of environmental measures. The characteristics and geography of the distribution of such environmental measures as a constructed wetland, a system for double regulation of the water regime of soils (controlled drainage), intelligent buffer zones, a sedimentation pond for phosphorus, a two-stage ditch, structural liming, a filter ditch (with lime) to reduce the nutrient load on water bodies of the pilot territory. The possibility of applying the measures was assessed in relation to the conditions of the experimental field of the Menkovo branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Agrophysical Research Institute" located in the Gatchinsky district of the Leningrad region. The main advantages of the environmental measures and existing restrictions for their use are determined. It is concluded that significant investment costs and the payback period of environmental projects act as constraining factors, which does not contribute to the widespread implementation of these technologies in practice. To stimulate the use of the proposed environmental measures, first of all, it is necessary to extend budget subsidies for the costs of environmental activities in the form of co-financing of farmers' investments. Additionally, it is necessary to organize constant environmental monitoring in the course of agricultural activities, strengthen scientific and educational work with entrepreneurs, population and train agroecologists.

***Keywords:*** water resources, eutrophication, agro-ecological measures, environmental efficiency, agricultural activity, Baltic Sea

***Acknowledgments:*** the authors are grateful for the financial support of the carried out research to the Programme "Interreg Baltic Sea Region" 2014-2020 (a program of cross-border cooperation between Russia, EU member states and Norway, aimed at strengthening interregional cooperation, developing the innovative, transport and environmental potential of the Baltic Sea region), as well as partic+ipants of the international project WATERDRIVE #R094, implemented within the framework of the Programme in the Leningrad and Kaliningrad regions of Russia, for fruitful cooperation, exchange of experience and useful ideas for preserving the natural environment of rural areas.



© Пономарев М.А., Никонова Н.А., Никонов А.Г., Дибирова Х.А., 2022

## Введение

Негативное воздействие биогенных веществ, прежде всего фосфора и азота, на водную среду, активизирует размножение в Финском заливе и Балтийском море сине-зеленых водорослей, усугубляя процессы эвтрофикации. Несмотря на положительные эффекты модернизации отраслей сельского хозяйства, обеспечивающие, в первую очередь, население качественными продуктами питания, современные процессы интенсификации в аграрном секторе, в совокупности с антропогенными факторами, стали заметно обострять проблемную экологическую ситуацию. Если, по экспертному мнению, точечную антропогенную нагрузку можно уменьшить с помощью очистных сооружений [1], то решать задачу снижения диффузного загрязнения водоемов в ходе сельскохозяйственной деятельности можно путем применения ряда экологических мероприятий.

Следует отметить, что вопросы охраны водных ресурсов в регионе Балтийского моря уже достаточно давно вышли на международный уровень и требуют от стран-участниц Хельсинской конвекции концентрации немалых усилий по регулированию и синхронизации государственных программ для снижения биогенной нагрузки на водные объекты, возникающей в результате осуществления интенсивного сельскохозяйственного производства. Поэтому в ряде стран-участниц соглашения, таких как Дания, Швеция, Финляндия и Эстония, требования по внедрению природоохранных мер в области уменьшения выноса азота и фосфора с сельскохозяйственных угодий в водосборную систему рек и озер активно выполняются и включены в программы развития сельских территорий. В то же время в России и в части постсоветских государств они еще не получили широкого распространения, несмотря на достаточное количество известных технологий. Наиболее распространенными мерами в сельском хозяйстве вышеупомянутых стран являются строительство искусственных ветландов [2] и создание буферных полос или зон, засаженных кустарниками, деревьями или многолетними травами, для прерывания стока дренажных вод сельскохозяйственных угодий с целью их очищения и улавливания питательных веществ [3, 4].

Также широко применяется структурное известкование почв для предотвращения процесса выщелачивания непотребленного растениями (избыточного) фосфора с сельскохозяйственных полей. Много внимания уделяется и усовершенствованию мелиоративных систем, например системе двойного регулирования в мелиоративной сети. В последние годы в Финляндии и других странах проводятся исследования с использованием двухступенчатых скошенных канав для систем мелиорации с целью оценки их влияния на вынос биогенов [5]. Двухступенчатая конструкция мелиорационной канавы предлагается как экологически предпочтительная альтернатива традиционным дноуглубительным работам для дренажа сельскохозяйственных культур и смягчения последствий наводнений, а также управления избытком (недостатком) воды в сельском хозяйстве [6].

В России нормативно-правовые требования в сфере управления водными ресурсами основываются на санитарно-гигиенических стандартах качества воды, но не содержат четких законодательно установленных требований к управлению биогенной нагрузкой от сельского хозяйства, за исключением обозначения водоохранных зон и пороговых значений выноса азота в сельском хозяйстве (не более 200 кг азота с 1 га) [7]. Однако этих шагов недостаточно для уменьшения диффузной нагрузки на водные объекты, следовательно, целесообразно использовать апробированные технологии природоохранных мер для интеграции в классические, традиционные мелиоративные системы, имеющиеся на сельскохозяйственных угодьях. Основной поток биогенных веществ, попадающих в водосборный бассейн Балтийского моря, формируется в результате сельскохозяйственной и коммунальной деятельности. Поэтому **целью исследования** выступал анализ особенностей и возможностей применения экологических мероприятий по предотвращению эвтрофикации в ходе сельскохозяйственной деятельности. Для этого были поставлены и решены следующие задачи:

– проведен анализ существующей системы управления водными ресурсами Ленинградской области;
– определена схема организационного механизма по внедрению природоохранных мер в сфере управления водными ресурсами на сельских территориях;
– рассмотрены характеристики и география распространения экологических мероприятий для снижения биогенной нагрузки;
– проанализированы преимущества и недостатки экологических мероприятий применительно к пилотной территории;
– выявлены основные ограничения, сдерживающие внедрение экологических мероприятий по предотвращению поступления фосфора и азота в водные объекты;
– даны рекомендации для ускоренного внедрения экологических мер.

## Методология проведения исследования

Теоретическая часть работы основана на исследованиях зарубежных и отечественных ученых по вопросам применения экологических мероприятий для управления водными ресурсами как в регионе Балтийского моря, так и за его пределами. Практическая часть исследования проводилась применительно к пилотной территории проекта WATERDRIVE — реке Суйда и полям филиала Агрофизического научно-исследовательского института (ФГБНУ АФИ), расположенного в деревне Меньково Гатчинского муниципального района Ленинградской области. При этом уточняющие расчеты и обоснование коэффициента экологической эффективности выбранных мероприятий предполагается провести в 2022 г. с учетом мелиоративного состояния земельных угодий.

## Результаты и обсуждение

При решении проблемы снижения биогенной нагрузки необходимо рассмотреть существующий организационно-экономический механизм управления водными ресурсами Ленинградской области, учитывая, что для сельскохозяйственных товаропроизводителей использование современных экологических проектов означает необходимость вложения значительных капитальных затрат при их длительном сроке окупаемости. Следует отметить, что сложившаяся схема управления водными ресурсами региона находится в общей системе их управления в целом по Российской Федерации (рис. 1).

Основными регламентирующими законодательными актами выступают Водный кодекс Российской Федерации, Федеральный закон «Об охране окружающей среды», Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года, Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации до 2030 года, Федеральная целевая программа «Чистая вода» и др. Вопросы регулирования использования водных ресурсов находятся в ведении Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства экономического развития РФ, Министерства регионального развития РФ и других министерств и ведомств, в том числе Министерства сельского хозяйства РФ. В рамках его деятельности государственная политика по сбережению

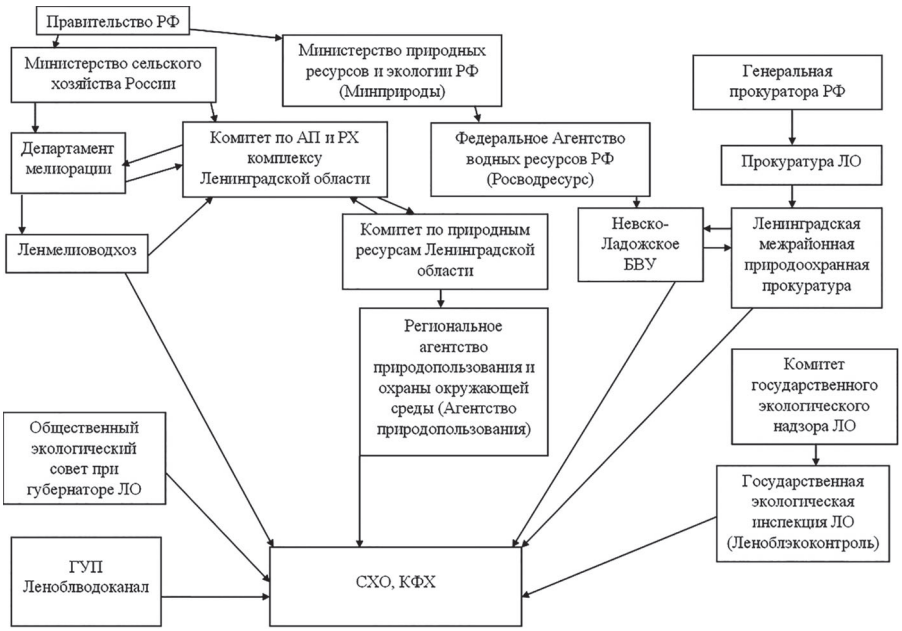


Рисунок 1. **Схема управления водными ресурсами в Ленинградской области**
Figure 1. **Water resources management scheme in the Leningrad region**

водных ресурсов и улучшению общей экологической обстановки в сельской местности осуществляется в ходе реализации «Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации», Государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий» и др. При этом мероприятия названных программ реализуются в Ленинградской области, как и в других регионах страны, в статусе ведомственных. В целом это формирует организационный механизм применения природоохранных мер в сфере управления водными ресурсами на сельских территориях Ленинградской области (рис. 2).

Как показали исследования, решение проблем эвтрофикации возможно с применением ряда экологических мер, таких как создание искусственных ветландов, системы двойного регулирования водного режима почв, интеллектуальных буферных зон, осадочных прудов (отстойников) для фосфора, двухступенчатых канав, фильтровальных канав (с известью) и проведения структурного известкования. Их особенности и широта распространения на практике представлены в таблице. Перечисленные водоохранные мероприятия, при условии их применения, позволили бы снизить загрязнение водных объектов, что очень актуально для территории Гатчинского района Ленинградской области при большой концентрации животноводческих комплексов и развитой отрасли растениеводства в водосборной территории рек Суйда и Оредеж.

**Интеллектуальные буферные зоны** (ИБЗ), как было отмечено в [3], обеспечивают поддержку биоразнообразия, удаление фосфора и азота, увеличение инфильтрации воды, что позволит контролировать эрозию почв на склонах, совершенствовать ландшафт, связывать углерод в почве и снижать выбросы парниковых газов. При этом в качестве недостатков ИБЗ следует указать следующие: со временем растения накапливают фосфор и перестают улавливать его в прежнем объеме; дополнительно требуется ежегодное скашивание многолетних трав, входящих в буфер; происходит выбытие части сельскохозяйственных угодий и связанная с этим потеря урожая ввиду изъятия части земли для создания ИБЗ; требуется большая сумма затрат на предпроектное обследование сельскохозяйственных угодий (оценка и учет рельефа, состояния почв и гидрологического режима).

Исходя из практики применения можно констатировать, что **структурное известкование**, ранее рассмотренное в [3], в современных условиях сохраняет свое главное преимущество, связанное с субсидированием части затрат на это мероприятие из средств госбюджета. Это не только ведет к увеличению урожайности, но и стимулирует сельхозпроизводителей применять данное мероприятие чаще, поскольку не требует капитальных затрат и выбытия сельскохозяйственных угодий, может способствовать уменьшению стока питательных веществ из почвы в водные потоки и более эффективному усвоению питательных веществ растениями, в результате уменьшается потребность в минеральных удобрениях и поле становится более адаптированным к экстремальным погодным условиям. Тем не менее данное мероприятие подходит не для всех видов почв, не имеет длительного пролонгированного эффекта, существенно не улучшает структуру почвы для предотвращения водной эрозии. Ограничителем применительно к условиям Ленинградской области также выступает необходимость ввоза гашеной извести из других регионов страны, что немного увеличивает стоимость данного мелиоранта.

Целесообразность использования **фильтровальной канавы** (траншеи) с известью возрастает на полях с глинистой почвой. В рамках Меньковской опытной станции почвообразующими породами являются моренные отложения, в основном легкого механического состава: супеси и пески, которые заключают прослои легкого суглинка, что вполне подходит для реализации в данных условиях. Зарубежные исследования показывают, что «почва, смешанная с известью, менее подвержена уплотнению, поскольку карбонаты кальция и магния могут образовывать гидросиликаты, вызывая сопротивление почвы давлению. Кроме того, известь изменяет характеристики частиц глины, так что они флокулируются, что облегчает перемещение всех основных ингредиентов в развитии растений, то есть большее количество подвижного фосфора, калия, азота, серы, кальция, магния и меньшее количество подвижного алюминия. Таким образом, известкование приводит не только к улучшению водного режима, но и к изменению качества воды» [8].

В настоящее время в России известь в почву вносят, преимущественно разбрасывая ее поверхностно на полях, что, по мнению зарубежных ученых, недостаточно эффективно. Лучше всего ее использовать, добавляя в почву в разных формах — будь то карбонат кальция ($CaCO_3$), гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), доломитовый известняк ($CaMg(CO_3)_2$), негашеная известь ($CaO$) или другие содержащие кальций материалы [9].

Главное условие при использовании фильтровальной траншеи — это тщательно перемешать почву с известью перед установкой известковых фильтров и заполнением дренажных траншей. Например, в Финляндии метод, разработанный для глинистых почв, включает внесение негашеной извести ($CaO$) для засыпки дренажей [10]. Таким образом, дренаж из известкового фильтра действует как мини-установка химической очистки и может рассматриваться как один из методов борьбы с загрязнением воды в сельском хозяйстве [11]. В результате получается стабильная пористая засыпка, которая эффективно связывает фосфор в просачивающейся воде [12, 13].

Эффективность данной меры подтверждается и в Литве, поэтому в [8] отмечается: «В стоках дренажа известкового фильтра общие концентрации фосфора были на 50% ниже, тогда как концентрации фосфатного фосфора были на 64,4% ниже, чем в контрольных дренажных водах… дренаж известкового фильтра является долговременным улучшением глинистых почв, поскольку наблюдались стойкие существенные различия в дренажных очистках, применяемых с 1989 года».

К сожалению, пока проведено недостаточно исследований относительно методов расчета норм извести, необходимых для улучшения инфильтрационных свойств глинистых грунтов. Примечательно то, что в Швеции метод был протестирован только на одном экспериментальном участке [14], и долгосрочные эффекты не отслеживались [8].

Тем не менее к преимуществам фильтровальной канавы (с известью) можно отнести: снижение переноса фосфора в открытые водоемы, более эффективную гидрологическую функцию, высокую скорость инфильтрации поверхностных вод, улучшение качества дренажной воды, что предотвращает рассеянное загрязнение поверхностных вод в сельскохозяйственных районах с преобладанием глинистых почв. Недостатки данного мероприятия идентичны с недостатками структурного известкования.

**Осадочный пруд** (отстойник) для фосфора, как было показано выше, представляет собой небольшие пруды ниже относительно склонов полей. На рассматриваемой нами территории он также может применяться для защиты реки Суйда от загрязнения взвешенными веществами, образующимися в период капитального ремонта осушительной сети. В теории пруд-отстойник выполняет очень важные функции

Рисунок 2. **Схема организационного механизма по внедрению природоохранных мер в сфере управления водными ресурсами на сельских территориях Ленинградской области**

Figure 2. **The scheme of the organizational mechanism for the implementation of environmental protection measures in the field of water resources management in rural areas of the Leningrad region**

Таблица. **Перечень применяемых агроэкологических мер по снижению биогенной нагрузки и их распространение в России и за рубежом**
Table. **The list of applied agri-environmental measures reducing nutrient load and their distribution in Russia and abroad**

| Название | Характерные особенности | Ареал и масштабы применения |
|---|---|---|
| Искусственный ветланд | Искусственно созданное очистное сооружение, когда из пруда-отстойника вода переходит в систему последовательно построенных прудов с глубокими и неглубокими зонами растительности (гребнями). | Применение в фермерских хозяйствах/сельхозорганизациях:<br>- в ЕС — относительно более распространено, входит в перечень субсидируемых агроэкологических мер;<br>- в России — единичное применение (Подмосковье, Мурманская и Томская области). |
| Система двойного регулирования водного режима почв | С помощью гидромелиоративных систем двустороннего действия избыточная вода отводится из почвы, накапливается и подается в засушливые периоды вегетации, что уменьшает загрязнение окружающей среды. | Распространена в зарубежных странах (Финляндия, Германия, Великобритания, США, Украина, Беларусь и др.) и в Российской Федерации (особенно в южных районах страны). |
| Интеллектуальные буферные зоны (ИБЗ) (прерывание дренажа до сброса в водотоки) | Устанавливаются на существующей границе, вдоль водотока или открытого мелиоративного канала. Традиционный дренаж прерывается при переходе с поля в буферную зону, вода поступает в созданный распределительный ров, откуда просачивается в буферную зону, где деревья, кустарники и многолетние травы поглощают питательные вещества. Азот и фосфор удаляются путем осаждения и поглощения растениями, адсорбции фосфата железом. | Широко используются в Швеции и Финляндии. В Финляндии для фермеров существует государственная программа субсидирования создания ИБЗ. В России применяются методы, схожие с ИБЗ (лесозащитные полосы, фитомелиорация, залужение нарушенных мелиорацией сельскохозяйственных земель). |
| Осадочный пруд (отстойник) для фосфора | Питательные (фосфорные) пруды.<br>Небольшие пруды ниже по склону полей, в которых накапливаются поверхностные стоки. | Распространены в Швеции.<br>В России чаще всего применяется для очистки сточных вод. |
| Двухступенчатая канава | Открытые мелиоративные каналы с несколькими уровнями и небольшими извилинами с поперечным и продольным изменением ширины и глубины, с посевом многолетних трав по откосам и террасам для удержания взвешенных отложений и фосфора, а также удаления азота из грунтовых стоков. | Применяются в Швеции, Финляндии и США. В России данная технология частично сходна с залужением отрытых мелиоративных каналов. |
| Структурное известкование | Мелиорант вносится в почву осенью из расчета 4-6 т/га. За счет применения гашеной извести создается стабилизированная пористая структура, которая способствует тому, что фосфор и азот лучше связываются в почве, особенно при применении минеральных удобрений, в результате уменьшается потеря питательных веществ и частиц из почвы, глинистая почва не так легко трескается. Это также приводит к тому, что корни растений легче проникают в землю и получают лучшую подачу воды и питательных веществ. | В Финляндии в качестве мелиоранта известь могут заменять отходами целлюлозно-бумажной промышленности и гипсом. В России предусмотрено стимулирование товаропроизводителей путем субсидирования работ по известкованию земель сельскохозяйственного назначения, в том числе в Ленинградской области. |
| Фильтровальная канава (с известью) | Искусственные канавы, засыпанные фильтратом. Химический принцип очистки сточных вод уменьшает утечку питательных веществ в течение длительного времени. Для достижения многофункционального эффекта зарубежными учеными запланированы биокарбонатные фильтровальные канавы. | В Европе распространена в Финляндии, Швеции, Литве.<br>В России в качестве экологической меры применяется для очищения сточных вод. |

по очистке стоков от фосфора и имеет следующие технологические достоинства:

– постоянное наличие в нем воды, по сравнению с прудами-накопителями, которые наполняются водой только в течение дождливого периода или паводка;
– пригодность для очистки животноводческих стоков со значительным количеством органических веществ, загрязненных экскрементами животных (с выгульных и откормочных площадок, скотопрогонов, технологических площадок сбора и погрузки подстилочного навоза и др.) и других загрязнений;
– более полное оседание на дно взвешенных твердых частиц отложений и фосфора;
– возможность удаления накопленных загрязнений.

Также к преимуществам пруда-отстойника следует отнести достаточно простую и отработанную технологию его возведения. Экологическая предпочтительность пруда-отстойника связана с возможностью создания рядом с ним накопительных прудов и искусственного ветланда, что позволит получить совместный эффект от деятельности растений и бактерий.

Следующей агроэкологической мерой для применения на пилотной территории была рассмотрена **двухступенчатая канава**. В качестве альтернативы традиционному способу дноуглубления существующих основных траншей, двухступенчатая конструкция канавы представляет собой многообещающее новое природоохранное решение для управления избытком (и нехваткой) воды в сельском хозяйстве. Двухступенчатая конструкция мелиорационной канавы предлагается как экологически предпочтительная альтернатива традиционным дноуглубительным работам, для дренажа сельскохозяйственных культур и смягчения последствий наводнений.

Двухступенчатая канава состоит из естественного донного проточного канала с пойменными «уступами», которые примыкают к основному проточному каналу внутри дренажной канавы. Поймы могут быть как односторонними, так и двусторонними (рис. 3). Структура имитирует черты естественного ручья и, следовательно, более экологична из-за возможностей развития естественных процессов, снижающих нагрузку питательных веществ из воды. Двухступенчатая канава уменьшает эрозию и последствия наводнения. Она состоит из основного канала, по которому вода течет когда объем воды

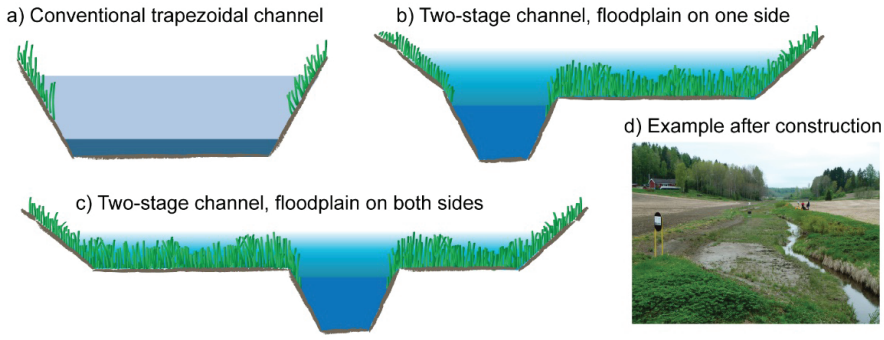


Рисунок 3. **Типичные поперечные сечения a) канавы трапециевидной формы, вырытой традиционным способом, и b-c) двухступенчатой канавы; на фото d) двухступенчатая канава после ее постройки (Изображения: Kaisa Västilä) [6]**
Figure 3. **Typical cross-sections of a) conventionally dredged trapezoidal-shaped channel and b-c) two-stage channel; in the photograph d) there is a two-stage channel after its construction (Images: Kaisa Västilä) [6]**

низкий, и из поймы, где воде больше места для протекания во время увеличения объема воды. Растительность в поймах предотвращает эрозию и забирает питательные вещества из воды. Как представляется, строительство поймы в некоторой степени увеличит биоразнообразие.

Необходимо учитывать, что двухступенчатая канава требует больше места, чем обычные канавы, используемые в сельском хозяйстве, что приводит к потере пахотных земель. Потеря площади поля на 1 м длины канавы составляет в среднем 3,7 м$^2$.

Двухступенчатые канавы обеспечивают: большую водоудерживающую способность при высоких расходах воды; осаждение мелкодисперсных наносов на поймах во время высоких потоков воды; усиление поглощения питательных веществ (например, травами); постоянное удаление азота в атмосферу и снижение эвтрофикации ниже по течению; уменьшение эрозии берегов и разрушения. Это поможет снизить частоту работ по обслуживанию канав, особенно в сочетании с очисткой донных отложений.

Пилотные исследования на Среднем Западе США и в Финляндии показывают, что двухступенчатые канавы могут обеспечить улучшение качества воды за счет улавливания и обработки взвешенных наносов (ВН), фосфора (Р) и азота (N) в пойме [15, 5]. В Финляндии эффективность двухступенчатой конструкции канавы была тщательно оценена путем расчета процента удержания ВН и накопления Р, N и углерода (С) в осадках по отношению к общей транспортируемой нагрузке за 9-летний период между летом 2010 и 2019 гг. [6]. Чистое удержание и эрозия ВН на пойме, берегах основного русла и русле с низким расходом были получены в результате повторных исследований геометрии поперечного сечения с высоким разрешением. Скорость накопления Р, N и С в отложенных отложениях была определена количественно по вертикальному распределению масс осадка. На основании этого 9-летнего мониторинга задержка отложений в пойме длиной 830 м составила 6450 кг/год для ВН; 4,7 кг/год для Р; 23,2 кг/год для N и 228 кг/год для С. Суммарная транспортируемая нагрузка показала, что эффективность удержания поймы составила 6,8 % для ВН; 3,5 % для Р; 0,42 % для N и 0,62 % для С.

Предполагается, что двухступенчатые канавы уменьшают отложение наносов на дне канала, что снижает потребность в техническом обслуживании и увеличивает срок службы канав. Новая среда обитания в пойме, сопровождаемая более естественным протоком с малым потоком, также может способствовать увеличению биоразнообразия, но научные данные о влиянии двухступенчатых канав на биоразнообразие пока ограничены [16]. Однако в недавнем исследовании финских коллег [6] сделан вывод, что двухэтапное строительство канавы оказалось полезным для биоразнообразия растений. Наибольшее количество их видов было зарегистрировано в двухступенчатом участке русла, в то время как на всех трех контрольных участках, вынутых традиционным способом, было меньше видов растений.

Двухступенчатые канавы требуют меньшего обслуживания, чем обычные канавы, но их строительство дороже. Стоимость строительства двухступенчатой канавы в 3,8 раза выше по сравнению с одноразовыми традиционными дноуглубительными работами. Также подсчитано, что периоды между необходимыми операциями по техническому обслуживанию двухступенчатых канав могут составлять до нескольких десятилетий [17], что увеличивает экономическую жизнеспособность двухступенчатых канав в долгосрочной перспективе. Считается, что меньшая потребность в обслуживании связана с тем, что двухступенчатые канавы имитируют естественные условия с естественными процессами седиментации и затопления [18]. Хотя может потребоваться техническое обслуживание для удаления древесной растительности, такой как ивы, которые могут препятствовать потоку воды или затенять травы, необходимые для стабилизации берегов.

Как показали проведенные исследования, основными факторами, ограничивающими и сдерживающими внедрение рассмотренных выше агроэкологических мер, выступают значительные капитальные затраты на строительство и реконструкцию мелиоративной сети, большой срок (до 10-15 лет) окупаемости проектов, при этом субсидированию подлежат только стандартные проекты по мелиорации без учета природоохранных мероприятий, а компенсацию части затрат на реализацию проекта можно получить только после завершения работ. Необходима более активная организационная работа на уровне региона по продвижению агроэкологических технологий вместе с оценкой имеющихся потребностей. Усиление научно-просветительской работы вместе с увеличением объемов и направлений бюджетного субсидирования затрат помогут активизировать деятельность товаропроизводителей по охране окружающей среды.

Во-первых, требуется разработать организационно-экономическое обоснование и каталог мер для адаптации мирового опыта к российским условиям и предоставления консультационной помощи сельхозпроизводителям по технико-экономическом параметрам, преимуществам и ограничениям применения мероприятий. Во-вторых, необходимо уточнить методику оценки экономической и экологической эффективности проводимых мероприятий, принимая во внимание обязательства России по снижению поступления питательных веществ в Балтийское море.

## Область применения результатов

В настоящее время интерес к применению агроэкологических мер в хозяйствах Ленинградской области низкий. Данные меры не носят первоочередной характер с точки зрения сельхозпроизводителей. Основными причинами являются низкий уровень информированности о существующих мерах, отсутствие государственного стимулирования и компенсации затрат. Даже при условии возмещения затрат на разработку проектно-сметной документации было сложно привлечь к сотрудничеству какое-либо коммерческое сельскохозяйственное предприятие или фермерское хозяйство с целью участия в проекте в качестве пилотной территории. Таким образом, провести исследование и анализ агроэкологических мер удалось только на примере опытного поля государственного учреждения. Однако, при условии целевого государственного финансировании предлагаемых мер, это даст возможность проследить результативность каждого из рассмотренных выше мероприятий по снижению биогенной нагрузки. В случае успешного опыта — рекомендовать их для их дальнейшей популяризации на демонстрационной площадке опытного поля и распространения в сельском хозяйстве Ленинградской области, что является очень важным для перехода сельхозпроизводителей на экологически безопасное производство в будущем. Таким образом, международный проект WATERDRIVE позволил собрать, проанализировать и обобщить международный научный и практический опыт применения агроэкологических мер, а результаты исследования можно будет использовать при разработке программ развития аграрной отрасли и сельских территорий, учитывая управление водными ресурсами.

## Выводы

Сельскохозяйственная деятельность оказывает определенное антропогенное воздействие на водные ресурсы, что приводит к изменению многих элементов экосистем и нарушению выполняемых ими функций. Реализация единой государственной политики в области экологии позволяет уменьшить интенсивность процессов ухудшения состояния почв и водных объектов. Однако для сохранения благоприятной окружающей среды в настоящее время необходимо активизировать деятельность всех товаропроизводителей по применению ими комплекса имеющихся экологических и мелиоративных мероприятий. Тем более что, как уже отмечалось в [19], более 80 % опрошенных фермеров и специалистов сельскохозяйственных организаций в Ленинградской области считают экологическое состояние ферм и окружающей среды важным аспектом сельскохозяйственной деятельности, а состояние почвы и воды — наиболее значимым в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Анализ показал, что рассмотренные выше мероприятия имеют не только преимущества, но и недостатки, начиная от значительной капиталоемкости проекта до необходимости отчуждения части сельскохозяйственных угодий из оборота и потери урожая. Тем не менее при осуществлении совместных усилий, направленных на взаимодействие государства и товаропроизводителей, они имеют все шансы на внедрение на практике. Комбинированное использования целевых средств федерального и регионального бюджетов, выделяемых в форме субсидий для сельскохозяйственных производителей и сельских жителей в рамках различных программ, подразумевает их направление на реализацию конкретных экологических мер. При этом необходимо обеспечить постоянный мониторинг их степени распространения в регионе и достоверность информации в сочетании с активной просветительской работой с населением и подготовкой кадров.

### Список источников

1. Нечипорук Д.М., Ноженко М.В. Проблемы охраны Балтийского моря в регионах Российской Федерации: пример Калининградской области // Балтийский регион. 2010. № 2 (4). С. 122-130.

2. Hoffmann, C., Kronvang, B., Audet, J. (2011). Evaluation of nutrient retention in four restored Danish riparian wetlands. *Hydrobiologia*, vol. 674, pp. 5-24. doi: 10.1007/s10750-011-0734-0

3. Пономарев М.А., Дибирова Х.А., Никонова Н.А., Никонов А.Г. Возможности применения интеллектуальных буферных зон для управления водными ресурсами на сельских территориях в Ленинградской области // АПК: экономика, управление. 2021. № 11. С. 88-94.

4. Uusi-Kämppä, J., Jauhiainen, L. (2010). Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 137, pp. 75-85. doi: 10.1016/j.agee.2010.01.002

5. Västilä, K., Järvelä, J., Koivusalo, H. (2016). Flow-vegetation –sediment interaction in a cohesive compound channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 142 (1):04015034. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001058

6. Västilä, K., Väisänen, S., Koskiaho, J., Lehtoranta, V., Karttunen, K., Kuussaari, M., Järvelä, J., Koikkalainen, K. (2021). Agricultural Water Management Using Two-Stage Channels: Performance and Policy Recommendations Based on Northern European Experiences. *Sustainability*, 13(16):9349. doi: 10.3390/su13169349

7. Thorsøe, M., Andersen,M., Brady, M., Graversgaard, M., Kilis, E., Pedersen,A., Pitze´n, S., Valve, H. (2021). Promise and performance of agricultural nutrient management policy: Lessons from the Baltic Sea. *AMBIO A Journal of the Human Environment*. doi: /10.1007/s13280-021-01549-3

8. Nijole, B., Valentinas, Š., Vidmantas, G. (2012). An Assessment of Lime Filter Drainage Systems. In: *Drainage Systems*, InTech, pp. 181-210. Available at: http://www.intechopen.com/books/drainage-systems/an-assessment-of-lime-filter-drainage-systems (accessed: 14 October 2021).

9. Doss, B., Dumas, W., Lund, Z. (1979). Depth of lime incorporation for correction of subsoil acidity. *Agronomy Journal*, vol. 71, no. 4, pp. 541-544.

10. Weppling, K., Palko, J. (1994). FOSTOP — a new method to improve water permeability and reduce phosphorus leaching in heavy clay soils. Proceedings of the *NJF-Seminar № 247 Agrohydrology and Nutrient Balances, 18-20 October 1994, Uppsala, Sweden*, p. 101.

11. Rhoton, F., Bigham, J. (2005). Phosphate Adsorption by Ferrihydrite-Amended Soils. *Journal of Environmental Quality*, vol. 34, pp. 890-896. doi: 10.2134/jeq2004.0176

12. Curtin, D., Syers, J. (2001). Lime-Induced Changes in Indices of Soil Phosphate Availability. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 65, pp. 147-152. doi: 10.2136/sssaj2001.651147x

13. Murphy, P., Stevens, R. (2010). Lime and Gypsum as Source Measures to Decrease Phosphorus Loss from Soils to Water. *Water Air Soil Pollution*, vol. 212, no. 1-4, pp. 101-111.

14. Ulén, B. (2002). Concentrations and transport of different forms of phosphorus during snowmelt runoff from an illite clay soil. *Hydrol. Processes*, vol. 17, pp. 747-758. doi: 10.1002/hyp.1164

15. Mahl, U., Tank, J., Roley, S., Davis, R. (2015). Two-Stage Ditch Floodplains Enhance N-Removal Capacity and Reduce Turbidity and Dissolved P in Agricultural Streams. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 51 (4), pp. 923-940. doi: 10.1111/1752-1688.12340

16. DeZiel, B., Krider, L., Hansen, B., Magner, J., Wilson, B., Kramer, G., Nieber, J. (2019). Habitat Improvements and Fish Community Response Associated with an Agricultural Two-Stage Ditch in Mower County, Minnesota. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 55 (1), pp. 154-188. doi: 10.1111/1752-1688.12713

17. Paradis, A., Biron, P. (2016). Integrating hydrogeomorphological concepts in management approaches of lowland agricultural streams: Perspectives, problems and prospects based on case studies in Quebec. *Canadian Water Resources Journal*, vol. 42 (1), pp. 54-69. doi: 10.1080/07011784.2016.1163241

18. D'Ambrosio, J., Ward, A., Witter, J. (2015). Evaluating Geomorphic Change in Constructed Two-Stage Ditches. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 51 (4), pp. 910-922. doi: 10.1111/1752-1688.12334

19. Пономарев М.А., Никонова Н.А., Никонов А.Г., Дибирова Х.А. Сохранение природного капитала в системе факторов экологически безопасного развития сельских территорий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 3 (381). С. 35-39.

## References

1. Nechiporuk, D.M., Nozhenko, M.V. (2010). Problemy okhrany Baltiiskogo morya v regionakh Rossiiskoi Federatsii: primer Kaliningradskoi oblasti [Problems of protection of the Baltic Sea in the regions of the Russian Federation: an example of the Kaliningrad region]. *Baltiiskii region* [ Baltic region], no. 2 (4), pp. 122-130.

2. Hoffmann, C., Kronvang, B., Audet, J. (2011). Evaluation of nutrient retention in four restored Danish riparian wetlands. *Hydrobiologia*, vol. 674, pp. 5-24. doi: 10.1007/s10750-011-0734-0

3. Ponomarev, M.A., Dibirova, Kh.A., Nikonova, N.A., Nikonov, A.G. (2021). Vozmozhnosti primeneniya intellektual'nykh bufernykh zon dlya upravleniya vodnymi resursami na sel'skikh territoriyakh v Leningradskoi oblasti [Possibilities of using intelligent buffer zones for water management in rural areas in the Leningrad region]. *APK: ehkonomika, upravlenie* [AIC: economy, management], no. 11, pp. 88-94.

4. Uusi-Kämppä, J., Jauhiainen, L. (2010). Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 137, pp. 75-85. doi: 10.1016/j.agee.2010.01.002

5. Västilä, K., Järvelä, J., Koivusalo, H. (2016). Flow-vegetation –sediment interaction in a cohesive compound channel. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 142 (1):04015034. doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001058

6. Västilä, K., Väisänen, S., Koskiaho, J., Lehtoranta, V., Karttunen, K., Kuussaari, M., Järvelä, J., Koikkalainen, K. (2021). Agricultural Water Management Using Two-Stage Channels: Performance and Policy Recommendations Based on Northern European Experiences. *Sustainability*, 13(16):9349. doi: 10.3390/su13169349

7. Thorsøe, M., Andersen,M., Brady, M., Graversgaard, M., Kilis, E., Pedersen,A., Pitze´n, S., Valve, H. (2021). Promise and performance of agricultural nutrient management policy: Lessons from the Baltic Sea. *AMBIO A Journal of the Human Environment*. doi: /10.1007/s13280-021-01549-3

8. Nijole, B., Valentinas, Š., Vidmantas, G. (2012). An Assessment of Lime Filter Drainage Systems. In: *Drainage Systems*, InTech, pp. 181-210. Available at: http://www.intechopen.com/books/drainage-systems/an-assessment-of-lime-filter-drainage-systems (accessed: 14 October 2021).

9. Doss, B., Dumas, W., Lund, Z. (1979). Depth of lime incorporation for correction of subsoil acidity. *Agronomy Journal*, vol. 71, no. 4, pp. 541-544.

10. Weppling, K., Palko, J. (1994). FOSTOP — a new method to improve water permeability and reduce phosphorus leaching in heavy clay soils. Proceedings of the *NJF-Seminar № 247 Agrohydrology and Nutrient Balances, 18-20 October 1994, Uppsala, Sweden*, p. 101.

11. Rhoton, F., Bigham, J. (2005). Phosphate Adsorption by Ferrihydrite-Amended Soils. *Journal of Environmental Quality*, vol. 34, pp. 890-896. doi: 10.2134/jeq2004.0176

12. Curtin, D., Syers, J. (2001). Lime-Induced Changes in Indices of Soil Phosphate Availability. *Soil Science Society of America Journal*, vol. 65, pp. 147-152. doi: 10.2136/sssaj2001.651147x

13. Murphy, P., Stevens, R. (2010). Lime and Gypsum as Source Measures to Decrease Phosphorus Loss from Soils to Water. *Water Air Soil Pollution*, vol. 212, no. 1-4, pp. 101-111.

14. Ulén, B. (2002). Concentrations and transport of different forms of phosphorus during snowmelt runoff from an illite clay soil. *Hydrol. Processes*, vol. 17, pp. 747-758. doi: 10.1002/hyp.1164

15. Mahl, U., Tank, J., Roley, S., Davis, R. (2015). Two-Stage Ditch Floodplains Enhance N-Removal Capacity and Reduce Turbidity and Dissolved P in Agricultural Streams. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 51 (4), pp. 923-940. doi: 10.1111/1752-1688.12340

16. DeZiel, B., Krider, L., Hansen, B., Magner, J., Wilson, B., Kramer, G., Nieber, J. (2019). Habitat Improvements and Fish Community Response Associated with an Agricultural Two-Stage Ditch in Mower County, Minnesota. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 55 (1), pp. 154-188. doi: 10.1111/1752-1688.12713

17. Paradis, A., Biron, P. (2016). Integrating hydrogeomorphological concepts in management approaches of lowland agricultural streams: Perspectives, problems and prospects based on case studies in Quebec. *Canadian Water Resources Journal*, vol. 42 (1), pp. 54-69. doi: 10.1080/07011784.2016.1163241

18. D'Ambrosio, J., Ward, A., Witter, J. (2015). Evaluating Geomorphic Change in Constructed Two-Stage Ditches. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 51 (4), pp. 910-922. doi: 10.1111/1752-1688.12334

19. Ponomarev, M.A., Nikonova, N.A., Nikonov, A.G., Dibirova, Kh.A. (2021). Sokhranenie prirodnogo kapitala v sisteme faktorov ehkologicheski bezopasnogo razvitiya sel'skikh territorii [Preservation of natural capital in the system of factors of environmentally safe development of rural territories]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 3 (381), pp. 35-39.

*Информация об авторах:*

**Пономарев Михаил Александрович,** научный сотрудник, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3919-3236, m.a.ponomarev@gmail.com

**Никонова Наталья Александровна,** кандидат экономических наук, научный сотрудник, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1504-7253, Researcher ID: G-4280-2018, 79127462539@mail.ru

**Никонов Алексей Григорьевич,** научный сотрудник, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1700-6463, Researcher ID: G-2355-2018, scienceeconomy@yandex.ru

**Дибирова Хапсат Абусупяновна,** младший научный сотрудник, Институт аграрной экономики и развития сельских территорий, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5857-7975, mag-dibirov@yandex.ru

*Information about the authors:*

**Mikhail A. Ponomarev,** researcher, Institute of agricultural economics and rural development, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-3919-3236, m.a.ponomarev@gmail.com

**Natalia A. Nikonova,** candidate of economic sciences, researcher, Institute of agricultural economics and rural development, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1504-7253, Researcher ID: G-4280-2018, 79127462539@mail.ru

**Aleksey G. Nikonov,** researcher, Institute of agricultural economics and rural development, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1700-6463, Researcher ID: G-2355-2018, scienceeconomy@yandex.ru

**Khapsat A. Dibirova,** junior researcher, Institute of agricultural economics and rural development, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5857-7975, mag-dibirov@yandex.ru

✉ **79127462539@mail.ru**