УДК 622.2:574.4/5

ВОЗДЕЙСТВИЕ ОАО «ФОСФОРИТ» НА ЭКОСИСТЕМУ РЕКИ ЛУГИ И ЕЕ ПРИТОКОВ

Произведена комплексная оценка влияния горно-промышленного предприятия ОАО «Фосфорит» на экосистему р.Луги и ее притоков. Установлено, что значительный вклад в общую техногенную нагрузку на гидроэкосистему дает не только сброс сточных вод, но и перенос поллютантов в атмосфере. Зарегистрировано существенное влияние предприятия на экосистему не только самой р.Луги, но и ее близлежащих притоков, в том числе и расположенных выше комбината по течению. Выявлены достоверные изменения не только многих абиотических показателей (превышение ПДК концентрациями биогенных элементов – минеральных и органических соединений фосфора, нитратов, аммония, ионов фтора, сульфатов, нефтепродуктов), но и основных биотических параметров (структурно-функциональные характеристики микрофитобентоса, фито- и зоопланктона, зообентоса, ихтиофауны). В зоне воздействия ОАО «Фосфорит» общий уровень антропогенного воздействия на гидроэкосистему превышает устойчивость экосистемы в 2,3 раза, что существенно (на 40 %) выше фонового показателя. Согласно результатам исследований, современные негативные изменения лужской экосистемы пока еще обратимы. Однако даже сравнительно небольшое (на 30 % и более) дополнительное увеличение техногенной нагрузки способно привести к быстрой и необратимой деградации речной биоты во всей зоне влияния ОАО «Фосфорит». Это определяет повышенные требования к разработке и реализации системы природоохранных мероприятий для ОАО «Фосфорит», особенно с учетом роста объема производимой продукции.

The influence of the mining enterprise "Fosforit" on the ecosystem of the river Luga and its tributaries is completely estimated. It has been found out that it is not only waste water discharge that contributes considerably to hydroecosystem total technogenic load but also transfer of pollutants within the atmosphere. Considerable increase of the enterprise influence on the Luga and its near-by tributaries including those up-stream has been registered. Not only obvious changes of different abiotic indices maximum allowable concentrations excess by biogenic elements concentrations –both mineral and organic phosphorus, nitrate, ammonium, fluorine ions, sulphate, oil-products combinations have been found out but of main biotic parameters (structural functional characteristics of microfitobenthos, fito- and zooplankton, zoobenthos, ichtyofauna) as well. In the area of "Fosforit" influence the total level of anthropogenic on the hydroecosystem 2-3 times exceeds the ecosystem stability, which is considerably (by 40%) higher the background index. According to research results the Luga ecosystem negative changes of today are yet reversible. Yet even a comparatively small (by 30 % or more) technogenic load increase may lead to rapid and non-reversible river biotic degradation in the whole area of "Fosforit" influence. It determines high demands on working out and realization of nature protection measures system for "Fosforit" especially with due regard for the volume of output growth.

* * *

Река Луга и многие ее притоки по своей рыбохозяйственной ценности относятся к высшей категории. Они населены многими ценными гидробионтами (балтийский лосось, кумжа, форель, хариус, минога, угорь, речной рак и др.). Здесь расположены многочисленные нерестилища и нерестово-выростные участки (НВУ) лососевых рыб. Следует также учитывать, что воды р.Луги в значительной степени определяют экологическое состояние и биопродуктивность Лужской губы – одного из основных нерестилищ салаки восточной части Финского залива. Лужская биота высокочувствительна к изменениям среды, что обусловливает повышенные требования к ее защите от внешних воздействий. Одним из основных источников негативного влияния на экосистему р.Луги считается ОАО «Фосфорит». Имеющиеся в литературе сведения о состоянии экосистемы р.Луги за последние десятилетия, по сути, ограничиваются результатам регулярных наблюдений на нескольких постах гидрометеослужбы (не-

большой стандартный набор гидрологогидрохимических характеристик). Современное состояние запасов ценных гидробионтов практически неизвестно. Сведения об антропогенном воздействии на биоту рек и, в частности, о роли в нем ОАО «Фосфорит» также весьма отрывочны.

Начиная с 1998 г., кафедрой экологии, аэрологии и охраны труда СПГГИ (ТУ) проводятся гидроэкологические исследования, цель которых изучение влияния ОАО «Фосфорит» на экосистему р.Луги и ее притоков и оценка современного состояния лужской экосистемы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ И ПРИМЕНЕННЫЕ МЕТОДИКИ

В качестве исходных данных использованы фондовые материалы СПГГИ (ТУ) о воздействии ОАО «Фосфорит» на окружающую природную среду, данные литературы и оригинальные материалы полевых гидроэкологических исследований, выполненных в 1998-2000 гг.

Отбор проб осуществлялся на реках: Луга (3 створа – на 2 км выше г.Кингисеппа по течению, на порогах в г.Кингисеппе и на 2 км ниже ОАО «Фосфорит» по течению); Хревица (в районе Лужского рыбзавода); Лемовжа (участок между деревнями Лемовжа и Сосницы); Вруда (у деревни Волна); Азика (в 1 км выше устья).

Гидрохимические анализы «первого дня» проводились по стандартным методикам. Учет ихтиофауны проводился на эталонных участках с использованием электроловильного агрегата (по согласованию с СЕВЗАПРЫБВОД). Пробы воды, отбираемые для дальнейшего лабораторного анализа, доставлялись без фиксации. Лабораторный гидрохимический анализ воды также осуществлялся по стандартным методикам в СПГГИ (ТУ) и в региональном центре «Мониторинг Арктики» (анализ специфических поллютантов). Пробы перифитона, фитопланктана, зоопланктона и зообентоса доставлялись на кафедру ЭА и ОТ и обрабатывались по общепринятым гидробиологическим методикам [2]. Статистический и математический компьютерный анализ данных проводился на кафедре ЭА и ОТ с использованием пакетов программ Statistica, MS-Excel и MS-Access.

Интерпретация результатов химического анализа проб воды осуществлялась согласно действующим нормативам ПДК и ОБУВ для водоемов рыбохозяйственного использования [1]. Однако биота лососевой реки отличается повышенной чувствительностью к ряду поллютантов и лимитируется при меньших значениях их концентраций, чем указанные ПДК (Шуйский, 1997). Поэтому для ряда веществ использовались реальные значения их пороговых и предельно допустимых концентраций, эмпирически установленные ранее при изучении лососевых рек Северо-Запада [3, 4].

Как известно, воздействие предприятий горной промышленности на экосистемы отличается особой сложностью, и непосредственно учесть все его компоненты практически невозможно. В связи с этим особую роль в экологической диагностике приобретают методы биоиндикации, обеспечивающие наиболее полную и надежную оценку состояния природной среды. В качестве основных биоиндикаторных характеристик экосистемы рек использовались характеристики макрозообентоса. Общепризнано, что именно это сообщество наиболее четко отражает состояние гидроэкосистем и их антропогенные изменения. При анализе учитывались: видовой состав макрозообентоса; состав видов-индикаторов сапробности; показатели видового многообразия, разнообразия, обилия (плотность, биомасса); индексы Ротшайна (КР), Пантле и Букка в модификации Сладечека (КС), Вудивисса (КВ), Пареле (КП), Балушкиной (КБ), Шуйского (Y). Оценивался также видовой состав, показатели обилия и индексы сапробности фитопланктона, микрофитобентоса и зоопланктона. В притоках р.Луги, имеющих высшую категорию рыбохозяйственной ценности, оценивалась также популяционная плотность стенобионтных видов рыб (лососевых, сиговых) и состояние нерестово-выростных участков лососевых.

ОАО «ФОСФОРИТ» КАК ИСТОЧНИК ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОСИСТЕМУ р.ЛУГИ

Основные виды деятельности ОАО «Фосфорит» разработка Кингисеппского месторождения фосфоритов, добыча открытым способом и обогащение фосфоритной руды, производство минеральных удобрений (с полным циклом), производство ремонтных работ оборудования. Промплощадка ОАО «Фосфорит» включает горно-обогатительный комплекс (рудник, обогатительная фабрика и производство кварцевых абразивов) и химический комплекс – завод сложных удобрений (ЗСУ) с расположенными на его территории вспомогательными цехами.

Кингисеппское месторождение фосфоритов расположено в Кингисеппском районе Ленинградской области, в 120 км от Санкт-Петербурга. Западная, восточная и южная границы месторождения совпадают с береговыми линиями рек Луги, Нарвы и Нарвского водохранилища; северной границей является линия Балтийско-Ладожского глинта, ограничивающего распространение продуктивного горизонта фосфоритов.

Через территорию месторождения в одном коридоре проходят железная дорога, шоссе Санкт-Петербург – Таллинн и газопровод, которые вместе с охранными целиками делят его на два участка: Северный и Южный. Северный участок отработан в 1980 г. и рекультивирован. Вдоль восточной границы Южного участка проходит шоссе Кингисепп – Сланцы. В непосредственной близости от границ месторождения расположены города: Кингисепп на востоке и Ивангород на западе. На территории месторождения и вблизи него расположены деревни Комаровка, Сала, Карловка. С южной стороны от транспортных магистралей расположена площадка рудника, разрабатывающего в настоящее время Южный участок Кингисеппского месторождения фосфоритов. С северной стороны от транспортных магистралей на отработанной площади Северного участка месторождения расположен горно-обогатительный комплекс (ГОК) и примыкающая к нему площадка химического комплекса, в совокупности представляющие промзону. Между отработанной территорией Северного рудника (служащей основной промышленной площадкой ОАО «Фосфорит») и действующими карьерами находится целик шириной около 2 км, служащий буферной зоной самоочищения загрязненных подземных вод. Площадь горного отвода для разработки месторождения – 12745 га.

Площадь месторождения представляет собой равнину, имеющую уклон в северном и северо-западном направлениях с абсолютными отметками от 20 до 29 м. Современный рельеф территории месторождения в целом равнинный. Рельеф Южного участка заболочен, в центральной части участка расположено месторождение торфа «Пятницкий мох». В процессе рекультивации отработанных площадей Южного участка бывший пологий равнинный рельеф поверхности перепрофилируется на волнистый.

Для хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения используются воды р.Луги и подземные воды. Имеющиеся скважины водозабора ОАО «Фосфорит» эксплуатируют подземные воды Ломоносовского горизонта нижнего кембрия, залегающие на глубине 100-150 м от дневной поверхности. Водоносный горизонт содержит воды порово-пластового типа, обладающие напором 80-100 м. Первоначальные уровни воды в скважинах устанавливаются на глубине 25-40 м от поверхности земли. Сверху Ломоносовский водоносный горизонт перекрыт толщей лантовасских глин нижнего кембрия мощностью около 100 м, в подошве залегают глины котлинского горизонта верхнего протерозоя

Основными источниками загрязнения Лужской гидроэкосистемы являются твердые, жидкие и газообразные отходы различного генезиса, образующиеся на всех стадиях добычи и переработки фосфатного сырья.

При добыче фосфоритов происходит образование карьерных вод с общим среднегодовым дебитом до 11500 тыс.м^3/год, сброс которых осуществляется в р.Лугу. Кроме того, в реку поступают частично очищенные

производственные и ливневые сточные воды (около 5300 и 7500 тыс.м^3/год, соответственно). Таким образом, общий расход отводимых сточных вод достигает 24300 тыс.м^3/год.

В р.Луге осуществляется также инфильтрация сточных и дренажных вод с территорий, занятых отходами производства. Наибольшую опасность для гидроэкосистемы представляют хранилища мокрых фосфогипсов и шламонакопители (с инфильтрационными потерями из них более 40 м^3/ч и более 10 м^3/ч соответственно).

Кроме того, загрязнение вод происходит при выпадении атмосферных осадков (содержащих выбрасываемые в атмосферу оксиды серы, азота и фосфора) и вследствие слива с поверхности земель продуктов их аэрозольного загрязнения. Эти два пути загрязнения наименее доступны учету и в данной работе отдельно не рассматриваются. Отметим лишь, что полный перечень источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на ОАО «Фосфорит» включает в себя более 1300 наименований. Так, согласно данным отчета «2-ТП Воздух», в 1998 г. валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу составил более 3490 т, в 1999 г. – более 3500 т. Основные поллютанты – сернистые газы, аммиак, фтор, фосфаты, оксиды азота. Согласно представленной отчетности 1999 г., состояние воздушной среды на границе СЗЗ находилось в пределах санитарных норм, источники выбросов в атмосферу укладывались в пределы нормативов ПДВ. Тем не менее, нельзя исключить возможность периодического воздействия выбросов ОАО «Фосфорит» на экосистему р.Луги и ее притоков при распространении поллютантов в атмосфере и выпадении осадков. В связи с этим, в настоящей работе проводится оценка экологического состояния не только р.Луги, но и ее правых притоков, впадающих выше по течению. Эти водотоки расположены на юго-востоке от ОАО «Фосфорит» (одно из преобладающих направлений ветра).

Наиболее подробно изучено поступление поллютантов в р.Лугу непосредственно со сточными водами различного происхождения. Сброс очищаемых карьерных, производственных и ливневых сточных вод в р. Лугу происходит следующим образом.

ОАО «Фосфорит» имеет четыре выпуска сточных вод в водоемы: № 1 – для производственных, ливневых, дренажных сточных вод после очистки, через руч.Горский в р.Лугу; № 2, 3, 4 – для карьерных вод в руч. Пятницкий, Нотика и Мутный.

Цех нейтрализации и очистки промышленных стоков ОАО «Фосфорит» включает: биологические очистные сооружения (для стоков обогатительной фабрики, хозяйственно-бытовых стоков с территории промплощадки, с территорий автомобильного цеха и сторонних организаций), отделения механической очистки ливневых вод и фторосаждения (для промстоков из промышленных цехов). Ручей Горский, принимающий эти очищенные стоки, рыбохозяйственной ценности не имеет. Русло ручья в верхнем течении на протяжении примерно 0,6 км канализировано; имеются три бетоноземляных и одна деревоземляная плотины, образующие каскад прудов. Фактический расход сточных вод составляет 1220 м^3/ч. ОАО «Фосфорит» имеет площадь горного отвода для разработки месторождения 12745 га. Результаты гидрохимических анализов показывают, что при этом выполняются не все нормативы ПДС, и концентрации ряда веществ в водах руч.Горского существенно превышают ПДК. Повышены концентрации взвешенных веществ, легко минерализуемых органических веществ (по БПК), железа, алюминия, фторидов, аммонийного и нитратного азота, фосфатов, сульфатов, хлоридов, нефтепродуктов, талловых мыл, фенолов, меди (по некоторым веществам превышение ПДК и ПДС на 1–2 порядка).

Ручьи, принимающие карьерные воды, являются водотоками первой категории рыбохозяйственной ценности (ихтиофауна: окунь, плотва, уклея, ерш, из р.Луги на нерест заходят лещ, щука, язь). Ручей Пятницкий имеет водоохранную зону шириной 50 м, прибрежную защитную полосу 15-35 м; руч.Нотика ВЗ 100 м, ПЗП 35-50 м; руч. Мутный ВЗ – 100 м, ПЗП 35-50 м. Величины фактического расхода сточных

вод 114, 200 и 466 м^3/ч соответственно. Перед выпуском в ручьи карьерные воды подвергаются частичной очистке в биопрудах-отстойниках. На выпуске в руч.Пятницкий пруд имеет объем около 184 тыс.м^3 и глубину 2-2,5 м. На выпуске в руч.Нотика – два пруда, каждый объемом около 385 тыс.м^3 и глубиной 2-2,5 м. Эти пруды оборудованы гребнями для закрепления высшей водной растительности. На линии откачки карьерных стоков на промплощадку и эпизодического сброса стоков в руч.Мутный (только в период паводка) имеется пруд-отстойник объемом около 75 тыс.м^3 без гребней для посадки растительности. По сравнению с руч.Горским эти три ручья менее загрязнены, однако периодически также содержат повышенные концентрации взвешенных веществ, биогенных элементов (соединения фосфора, азота, железа), нефтепродуктов.

Загрязнение вод р. Луги и ее притоков инфильтратами сточных и дренажных вод с территорий, занятых отходами производства, определяется следующими данными.

Накопители отходов производства ОАО «Фосфорит» расположены в пределах рекультивированной территории Северного рудника, в зоне санитарной охраны р.Луги, на ее левом берегу. Степень воздействия отдельных сооружений и накопителей отходов во многом зависит от приуроченности к определенному геолого-литологическому разрезу их основания, а также геоморфологических особенностей участка расположения промплощадки, либо его отдельных частей. Формирование гидродинамического и гидрохимического режима подземного и поверхностного стока тесно связано со спецификой геологического строения и геоморфологических условий размещения различного рода загрязнителей. Территория промплощадки на рекультивированных карьерах Северного рудника приурочена к северной и северо-восточной оконечности глинта, а хвостохранилища расположены на предглинтовой низменности в долине р.Луги, где достаточно мощная толща четвертичных отложений (в основном суглинки и глины) залегает на нижнекембрийских глинах и частично на тискреских песчаниках. Учитывая общее падение пластов коренных пород на юг-юго-восток, основной подземный поток загрязненных вод промплощадки направлен в сторону действующих карьеров, т.е. от р.Луги.

Из накопителей отходов производства основными источниками загрязнения вод являются:

– шламонакопитель для хранения осадков от очистки промстоков;

– хранилища сухого фосфогипса;

– хвостохранилища обогатительной фабрики.

В ***шламонакопитель*** общей площадью 11,8 га поступают сточные воды цехов фосфорной, серной кислот и производства сложных удобрений, обработанные на станции нейтрализации известковым молоком. Стоки шламонакопителя имеют аммонийный сульфатно-фосфатный состав. В твердой части шлама, где преобладают фториды кальция, отмечается повышенное содержание железа, марганца, хрома, цезия, лантана. В зоне шламонакопителя сформирован купол сильно загрязненных грунтовых вод. Шламонакопитель выстроен не на целиковом основании, а на нарушенных и ландшафтно рекультивированных грунтах, имеет двуслойный пленочный экран. Однако результаты анализа воды из контрольных скважин показывают, что поллютанты все же просачиваются в грунтовые воды и распространяются с ними в южном направлении.

Отвалы ***сухого фосфогипса*** занимают общую площадь 115,2 га. Гидрофильный фосфогипс насыщает атмосферные осадки, выпадающие на отвалы. Смывы с поверхности отвалов скапливаются в дренажных канавах, стоки из которых поступают в р.Лугу без очистки, так как строительство соответствующих очистных сооружений еще не завершено.

Хвостохранилища в настоящее время имеют общую площадь 453,7 га. Они расположены на целиковой части территории ОАО «Фосфорит». В основании оградительных (пионерных) дамб и намывного тела хвостохранилища прослеживаются в основ-

ном озерно-ледниковые отложения, подстилаемые моренными образованиями. Озерно-ледниковые отложения характеризуются зональностью разреза и изменением физико-механических свойств по глубине. В верхней зоне развиты наиболее легкие по гранулометрическому составу разности пород (обычно супеси и суглинки) с ярко выраженной вторичной ожелезненностью, более плотные и менее влажные по сравнению с отложениями, залегающими ниже. Вторая зона отличается наличием слоистости в озерно-ледниковых отложениях, повышенным содержанием глинистых фракций и соответственно влажности, сравнительно низким содержанием гидроксидов железа. В третьей по глубине зоне развиты тонкодисперсные ленточные глины, характеризующиеся высоким влагосодержанием (до 50-65 %) и самой низкой прочностью по сравнению с вышележащими слоями.

Учитывая высокий уровень грунтовых вод, толща основания хвостохранилища может рассматриваться как полностью водонасыщенная. Техногенные (намывные) отложения хвостохранилищ – отходы обогатительной фабрики характеризуются как пески мелко- и среднезернистые в разрезе упорной призмы, которые по мере приближения к прудковой зоне сменяются тонкозернистыми разностями.

Донные отложения прудка обычно относятся к тонкозернистым пылеватым и глинистым пескам, реже к супесям и легким суглинкам. Существование прудка, химический состав вод которого тождественен флотационным водам обогатительного цикла, предопределяет условия для трансформации гидродинамического и гидрохимического режимов грунтовых вод. Кроме того, постоянная фильтрация промышленных вод из прудковой зоны и наличие техногенного водоносного горизонта в намывных песках, «подвешенного» по отношению к существующей речной сети, создают потенциальную угрозу загрязнения не только подземных, но и поверхностных вод.

Компонентный состав прудковых вод достаточно стабилен во времени. Основными загрязняющими соединениями служат: фосфаты, фториды, нефтепродукты (соляровое масло и керосин) и талловые мыла. Последние из перечисленных компонентов относятся к числу флотореагентов, первые два (фосфаты и фториды) – природные соединения, характерные для состава руд, перерабатываемых на ОАО «Фосфорит».

При эксплуатации хвостохранилищ прудковые воды, фильтруясь через тело намывных песков и оградительных дамб, перехватываются дренажными канавами, воды которых являются источником загрязнения грунтовых вод верхней части озерно-ледниковых отложений. Загрязнение подземных вод в зоне развития ленточных глин происходит за счет фильтрации прудковых вод через основание накопителей. До начала эксплуатации грунтовые воды характеризовались как гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,4 г/л. После ввода в эксплуатацию хвостохранилищ химический состав несколько изменился за счет повышения содержания ионов фтора, фосфатов, в воде появились нефтепродукты, резко возросла величина ХПК. Однако по мере удаления от дренажной траншеи по направлению к р.Луге концентрации основных загрязняющих компонентов уменьшаются. Особенно заметно снижается содержание нефтепродуктов: в зоне высачивания (разгрузки) грунтового потока в р.Луге они практически исчезают. В значительной степени этому способствуют и микробиологические процессы.

С грунтовыми водами в р.Лугу мигрируют инфильтраты не только складированных отходов производства, но и неочищенных дренажных, карьерных и промышленных вод. С промышленной территории, где расположены основные заводские сооружения, грунтовый сток частично дренируется в разрезной траншее перед целиком Таллиннского шоссе и частично разгружается на северном борту действующих карьеров. С западного участка этой траншеи, отделенной перемычкой от восточного, насосами воды перекачиваются в руч. Горский и самотеком поступают на очистные сооружения промливневой канализации. В виде смешанного потока далее через каскад от-

стойников воды руч.Горского попадают в р.Лугу.

Дренажные воды восточного участка соединяются с карьерными водами руч.Пятницкого – р.Падожицы и поступают самотеком в р.Лугу, в 1 км выше впадения руч.Горского. Значительная часть грунтового потока фильтруется через целик и дренируется в карьерах Южного рудника. Здесь техногенные грунтовые воды смешиваются с чистыми водами фронтальной части месторождения. Они поступают в р.Лугу через руч.Мутный, Гнилой и Пятницкий, Нотика и через р.Падожицу.

Таким образом, основная часть поверхностного и подземного стока, формирующегося на территории промышленного комплекса, в итоге все же поступает в р.Лугу. Исключение составляет доля поверхностного стока, используемая в производственных циклах, а также его потери при инфильтрации и испарении (всего около 20 %).

ХАРАКТЕРИСТИКА Р.ЛУГИ И ЕЕ ПРИТОКОВ В РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Водосборная территория р.Луги относится к южной подзоне тайги. На песчаных и супесчаных почвах широко распространены сосновые леса (преимущественно – зеленомошные), а также еловососновые, с примесью березы. Кроме того, характерной особенностью Лужской водосборной территории является наличие небольших дубрав.

Основные характеристики водосборной территории р.Луги и ее притоков Лемовжи и Вруды сведены в табл.1. На водосборной территории р.Луги хорошо развита гидрографическая сеть (коэффициент густоты речной сети достигает 0,70 км/км^2). Характерна слабая зарегулированность протоков озерами (менее 2 %).

Река Луга имеет длину 353 км при среднем уклоне 0,16 ‰. За исток принимается начало головного канала из Тесово-Нетыльского болота, в 1 км юго-восточнее оз.Самино. Впадает р.Луга в Финский залив в 3 км северо-восточнее пос.Усть-Луга. Площадь водосбора составляет 13200 км^2

Таблица 1

Некоторые характеристики водосбора изучавшихся рек

Характеристики	Луга	Лемовжа	Вруда
Площадь, км^2	13200	839	526
Длина, км	195	39	39
Наибольшая ширина, км	111	22	19
Средняя ширина, км	68	21	13
Густота речной сети, км/км^2	0,70	0,95	0,49
Площадь озер, %	2	< 1	< 1
Площадь болот, %	9	20	7
Площадь лесов, %	62	72	64
Площадь пашен и лугов, %	27	7	28

Бассейн р.Луги представляет собой низменную, слабо расчлененную равнину, характеризующуюся малым уклоном местности, с изобилием западных форм рельефа. Среди равнины встречаются отдельные гряды и группы холмов. К северу от г.Кингисеппа проходит Силурийский глинт, состоящий из нескольких террас. Ниже его начинается очень низменная предглинтовая равнина. На ее поверхности возвышаются Криковское, Куровицкое и Кругловское плато, достигающие абсолютной высоты 25-30 м. К югу от г.Кингисеппа, на равнинном Лужско-Нарвском водоразделе, среди обширных торфяников выступают древние дюны, сложенные перевеянными озерно-ледниковыми песками.

Грунты на большей части бассейна представлены суглинками и глинами, реже – валунными суглинками и супесями. Супеси преобладают на территории Силурийского плато, южная часть которого входит в состав бассейна (в северную и северо-восточную часть). В районе р.Луги распространены флювиогляциальные и зандровые несортированные пески. В верхней части бассейна, между р.Саба и оз.Спас-Которское, в бассейнах рек Лыченка, Долгая (нижнее течение), Лубенка и севернее г.Кингисеппа преобладают озерно-ледниковые отложения в виде мелких и средних сорти-

рованных песков. Большая часть бассейна покрыта смешанными лесами, у селений значительные площади распаханы. Болота расположены в верховье р.Луги (Тесово-Нетыльский болотный массив) и по ее правобережью, от устья р.Оредеж до устья р.Хревица и в междуречье рек Луги и Наровы. В области распространения Силурийского плато, сложенного легкокарстующимися известняками, реки получают обильное питание за счет карстовых вод. Сток здесь происходит преимущественно подземным путем, что сильно уменьшает потери на испарение и делает сток более равномерным. Влияние карста особенно сказывается на водном режиме рек Вруда и Хревица.

Долина р.Луги ящикообразная (на участке от устья руч.Запесчанского до дер.Б.Волок и от устья р.Веревки до дер.Изорь), V-образная (на участке 6 км в районе г.Луги и в Кингисеппе, где река прорезает Силурийский глинт), трапециидальная (на участке от дер. Б.Волок до устья р. Веревки), на остальном протяжении – неясно выраженная.

Склоны долины выше впадения р.Веревки умеренно рассеченные, на участке выше дер.Б.Волок и ниже устья р.Веревки – пологие и умеренно крутые, в районе г.Кингисеппа – очень крутые. Преобладающая их высота 15-20 м, ниже устья р.Веревки – 20-25 м, в районе г.Кингисеппа 10-20 м, наибольшая – 50 м, наименьшая – 7 м. Склоны сложены валунными суглинками, местами – супесями, в районе г.Луги и ст.Толмачево – песками; в районах дер.Ивня и Заполье имеются выходы известняка, между дер.Старицей и устьем р.Лемовжи встречаются обнажения песчаника. В районе г.Кингисеппа склоны долины состоят из известняков, покрытых суглинком. Склоны покрыты лугами, местами поросли кустарником, между г.Луга и ст.Толмачево имеются обнажения песка, на участке от устья р. Веревки до дер.Изорь склоны облесены. Пойма р.Луги покрыта лугами с отдельными кустами ольхи и ивы, частично кустарником и смешанным лесом, местами заболочена.

Река Луга и ее притоки обладают смешанным питанием с выраженным преобладанием снегового (44-80 % годового стока); доля дождевого стока составляет 1-39 %, доля грунтового стока – 15-28 % (последняя составляющая довольно велика в сравнении с реками других водосборных территорий Северо-Запада, что объясняется преобладанием песчаных и супесчаных почв). Среднемноголетний расход воды в р.Луге составляет около 90 $м^3/с$, в реках Лемовжа, Вруда и Хревица – около 7, 6 и 4 $м^3/с$ соответственно. На р.Луге и ее притоках четко выражены весенний и осенний максимумы уровня воды и летний и зимний минимумы, причем в период весеннего половодья проходит до 65 % объема годового стока. Проведенные исследования характеризуют экологическое состояние гидроэкосистемы в период летней межени, которая устанавливается в начале – середине июня и заканчивается в октябре. Наиболее низкий уровень воды наблюдается в июле – августе. Средняя продолжительность летне-осенней межени превышает среднюю по региону (150-160 и 120 дней, соответственно).

Русловая структура. Река Луга в зоне ведения исследований и все ее изучавшиеся притоки имеют значительные участки, отвечающие основным требованиям к нерестово-выростным участкам лососевых рыб. Русло – извилистое, часто порожистое. Пороги образованы скоплениями валунов, вымытых из морены, или выходами трудно поддающихся размыву известняков и песчаников. Пороги располагаются ступенями и чередуются с глубоководными плесами с тихим спокойным течением. Реки такого типа вносят большой вклад в воспроизводство запасов лососевых рыб Финского залива и требуют особенно тщательной охраны от антропогенных воздействий.

Русло р.Луги от 290-го до 225-го километра от устья и местами на участке длиной 113 км от устья сильно, а на остальном протяжении только у берегов зарастает водной растительностью, на протяжении 113 м от устья засорено топляками. Дно песчаное, на порожистых участках галечно-валунное; выше 133-го километра от устья – местами

заиленное; между 265-м и 221-м километром от устья – изредка глинистое, от 113-го до 59-го километра от устья сложено плитами известняка, часто перекрытыми песком; ниже 220-го километра от устья имеются отдельные валуны. Берега в верховье открытые, крутые и очень крутые, сложены песчано-торфянистыми грунтами. Ниже 337-го километра от устья они покрыты лугом с кустами, между 225-м и 113-м километром от устья – смешанным лесом и кустами. Берега крутые, умеренно крутые или обрывистые, и только между 113-м и 57-м километром от устья местами пологие. Грунт песчаный, супесчаный и суглинистый, на участках 112-105, 97-88 и 66-57-й километр от устья русло известняковое. Из высшей водной растительности преобладают: рдест гребенчатый (Potamogeton pectinatus L.); роголистник погруженный (Ceatophyllum demersum L.); рдест маленький (Potamogeton pusillus L.); рдест стеблеобъемлющий (Potamogeton perfoliatus L.); мох Fontinalis sp.; хвощ речной (Equisetum fluviatile L.); стрелолист плавающий (Sagittaria natans Pall.).

Результаты гидрохимического анализа показывают следующее.

Воды р.Луги и ее притоков относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Мутность воды в изучавшихся реках (как и в остальных водотоках, протекающих по Силурийскому и Карбоновому плато с развитыми карстовыми явлениями) меньше средней для региона: 5-10 г/м^3 против 30 г/м^3, соответственно.

Прозрачность вод р.Луги и ее притоков сравнительно высока (более 24 см по стандартному шрифту), за исключением периода весеннего половодья (до 6-12 см). Цветность воды широко варьирует в течение сезона – от 28 град. платиново-кобальтовой шкалы до 266 град. (в периоды летней межени и летне-осенних паводков).

Правые притоки р.Луги отличаются повышенной жесткостью воды (1,2-1,8 мг·экв/л), особенно в период летней и, в наибольшей степени, зимней межени (до 5,3 мг·экв/л, что соответствует максимальному значению данного показателя для рек Северо-Запада). Однако в период весеннего половодья жесткость уменьшается настолько существенно (0,5-1,5 мг·экв/л), что воды правых притоков временно попадают в категорию «очень мягких».

По содержанию CO_2 воды р.Луги и ее притоков сравнительно не агрессивны (содержание агрессивной CO_2 – обычно менее 10 мг/л, весной – до 11 мг/л, недостаток CO_2 до равновесных ее количеств составляет 0,3-4,1 г/л). Сезонный диапазон колебаний перманганатной окисляемости (ПО) сдвигается от верхнего течения р.Луги к нижнему от 15-44 до 7-24 мгО/л, диапазон бихроматной окисляемости, или химического потребления кислорода (ХПК) от 21-94 до 16-47 мгО/л. «Фоновыми» для изучавшихся рек, с учетом особенностей их водосборной территории, в периоды летней и зимней межени следует считать значения ПО-2-9 мгО/л, ХПК-8-20 мгО/л.

Концентрация нитритов в р.Луге варьирует от 0 до 0,138 мг/л, нитратов – от 0 до 5 мг/л, фосфатов – от 0 до 0,106 мг/л. В зимний период содержание нитратов достигает максимальных значений, которые в данных водотоках оказываются сравнительно высокими, особенно в р.Лемовже (до 4,5–6 мг/л). Содержание железа в воде Луги и ее притоков становится максимальным в периоды летней и зимней межени (за счет усиления роли грунтового питания) и иногда достигает 2,6 мг/л, в остальное время – не превышает 1 мг/л.

Левые притоки р.Луги протекают в заболоченных долинах, поэтому отличаются пониженной минерализацией и, соответственно, уменьшают ее в р.Луге. Правые притоки р.Луги (Лемовжа, Вруда) питаются водами Ордовикского плато и, наоборот, характеризуются повышенной минерализацией и увеличивают ее в лужских водах.

По величинам индекса загрязненности воды (ИЗВ = 1,6-1,8) воды р.Луги характеризуются как «умеренно загрязненные».

На створе, расположенном ниже ОАО «Фосфорит» по течению, по сравнению со створами, выбранными выше г.Кингисеппа и в черте города, достоверно возрастали концентрации биогенных элементов (мине-

ральных и органических соединений фосфора, нитратов, аммония), ионов фтора, сульфатов, нефтепродуктов. При этом наблюдалось превышение как соответствующих ПДК, установленных для водоемов рыбохозяйственного использования, так и диапазонов концентрации этих веществ, допустимых для специфической биоты лососевых рек. Здесь же отмечалось и достоверное увеличение показателей органического загрязнения (ХПК, цветность по платиново-кобальтовой шкале) (табл.2).

Биотические показатели.

В ***фитобентосе*** всех изучавшихся рек преобладали нитчатые водоросли – Mougeotia sp., Oscillatoria sp., Zygnema sp., Spyrogira sp., Ulothrix sp., Cladophora sp., Tribonema sp.; встречались также Pinnularia sp., Navicula sp., Synedra sp., Gomphonema sp., Fragillaria capucina и F. crotonensis. Такой состав микрофитобентоса соответствует условиям олиго-β-мезосапробности, т.е. воды характеризуются как «умерено загрязненные».

Видовой состав ***фитопланктона*** р.Луги на всем изучавшемся участке характеризует ее как β-мезосапробный водоток (воды – «загрязненные»).

В составе ***зоопланктона*** изучавшихся рек обнаружено 29 видов. Основные индикаторные характеристики зоопланктона приведены в табл.3. По продукционным свойствам зоопланктона реки Вруда, Лемовжа и Азика относятся к «среднему» классу трофности (α-β – мезотрофность), р.Луга – к «высокому» классу (β-эвтрофность). Судя по видовому составу и по приведенным количественным характеристикам зоопланктонных сообществ, водотоки характеризуются как олиго-β-мезосапробные (воды – «умеренно-загрязненные»). В реках Вруде, Лемовже и Азике повышенная доля фильтраторов-кладоцер свидетельствует также о происходящем антропогенном эвтрофировании.

В составе ***макрозообентоса*** изучавшихся рек обнаружено 48 видов. Структурно-функциональные характеристики макрозообентоса (табл.4) свидетельствуют, что изучавшиеся водотоки являются «умеренно-загрязненными». При этом показатели обилия и продуктивности бентоса довольно велики и соответствуют уровню β-мезо – α-эвтрофности («средней» «повышенной» трофности) (Шуйский, 1997). Следовательно, умеренное техногенное загрязнение водотоков сопровождается также антропогенным эвтрофированием.

Таблица 2

Диапазоны значений концентрации некоторых веществ в водах р.Луги и ее притоков

Створ наблюдений	Концентрация, мг/л						
	F-	SO_4^{2-}	$N\text{-}NO_3^-$	$N\text{-}NH_4^+$	$P\text{-}PO_4^{3-}$	Фенолы	Нефтепродукты
Р.Луга, выше г.Кингисеппа	0,2-0,4	12-18	0,1-0,4	0,1-0,2	0,01-0,02	0,0001-0,0005	0,00-0,01
Р.Луга, г.Кингисепп	0,2-0,4	16-21	0,2-0,4	0,2-0,3	0,02-0,03	0,0002-0,0005	0,01-0,06
Руч.Горский	1,6-1,8	146-232	5,6-13,4	1,9-5,9	2,9-4,6	0,0008-0,0010	0,10-0,12
Р.Луга, ниже ОАО «Фосфорит»	0,3-0,6	25-27	0,4-0,7	0,4-0,7	0,03-0,07	0,0004-0,0010	0,03-0,08
Р.Хревица	0,0-0,1	24-27	0,3	0,6	0,03	0,0003	
Р.Лемовжа	0,0-0,1	26-28	0,6	1,0	0,02	0,0002	
Р.Вруда	0,1-0,3	12-14	0,2	0,2	0,02	0,0005	
Р.Азика	0,0	12	0,1	0,6	0,01	0,0001	
ПДК	+0,05 к фону, до 0,75	100	9,1	0,4	0,04 при олиготрофии	0,001	0,05

Таблица 3

Некоторые характеристики зоопланктона изучавшихся водотоков

Водоток, створ	Показатель					
	S	*B*	B_R	B_{Cp}	B_{Cl}	*W*
Р.Луга, выше г.Кингисеппа	16	11,3	5	35	24	0,35
Р.Луга, г.Кингисепп	12	11,9	33	14	12	0,12
Р.Луга, ниже ОАО «Фосфорит»	17	24,1	23	33	10	0,15
Р Вруда	27	35,0	8	24	43	1,28
Р. Лемовжа	29	22,9	7	20	38	1,10
Р Хревица	17	12,4	6	37	23	0,80
Р .Азика	14	25,0	8	7	45	0,99

Примечание: *S* – видовое богатство зоопланктона (количество идентифицированных элементарных таксонов); *B* – биомасса (мг/м^3); B_R, B_{Cp} и B_{Cl} – доля коловраток, кладоцер и копепод в биомассе зоопланктона, %; *W* – средняя масса особи зоопланктона, г · 10^{-5}

Таблица 4

Некоторые характеристики макрозообентоса изучавшихся водотоков

Водоток, створ	Показатель					
	S	*H*	*B*	*W*	*P*	*Y*
Р. Луга, выше Кингисеппа	20	2,57	20,5	45	0,12	1,7
Р. Луга, г. Кингисепп	15	2,12	17,4	42	0,09	2,0
Р. Луга, ниже ОАО «Фосфорит»	14	2,04	10,6	23	0,07	2,3
Р. Вруда	15	2,85	17,9	14	0,19	1,3
Р Лемовжа	19	2,80	9,1	10	0,25	1,2
Р Хревица	18	2,70	9,3	14	0,23	1,8
Р Азика	10	3,30	4,2	6,0	0,14	0,9

Примечание: *S* – видовое богатство макрозообентоса (количество идентифицированных элементарных таксонов); *H* – видовое разнообразие макрозообентоса, бит/экз; *B* – биомасса макрозообентоса, г/м$^{-2}$; *W* – средняя масса особи макрозообентоса, мг; *P* – скорость образования продукции макрозообентоса, ккал/м^2/сут, *Y* – мера антропогенной нагрузки: показатель кратности превышения воздействием устойчивости к нему биоты, обобщающий результирующий эффект всех лимитирующих факторов с учетом их синергизма (Шуйский, 1997; Шуйский и др., 2000).

Однако в р.Луге на створах в черте г.Кингисеппа и ниже ОАО «Фосфорит» по течению бентос был значительно угнетен по всем количественным характеристикам, включая и показатели обилия, что свидетельствует об эвтрофировании в сочетании со значительной, хронической техногенной интоксикацией гидробионтов.

Показатель результирующей антропогенной нагрузки *Y* оказался минимальным в р.Азике ($Y = 0,9$, т.е. биота еще сохраняет запас прочности к антропогенному воздействию), максимальным в р.Луге ($Y = 2,3$, т.е. антропогенное воздействие уже достоверно изменило биоту, превысив запас ее прочности более чем вдвое). В изучавшихся притоках биота претерпевает меньшие антропогенные изменения: воздействие превышает запас ее прочности в 1,2-1,8 раза.

Ихтиофауна. Все изучавшиеся реки относятся к высшей категории рыбохозяйственного использования.

В р.Луге обитают следующие виды рыб: лосось балтийский, кумжа, форель, плотва, окунь, ерш, уклея, щука, налим, лещ, язь, жерех, голавль, линь, минога, угорь.

Общая площадь потенциальных нерестилищ и нерестово-вырастных участков (НВУ) лососевых в р.Луге составляет около 18 га. Они расположены вне района исследований (выше пос.Сабского и в черте г.Кингисеппа, на участке от шоссейного моста до спасательной станции, у дер.Юркино, на участке от станции очистки до пос.Б.Луцк).

Река Хревица населена лососем балтийским, кумжей, плотвой, окунем, ершом, щукой, налимом, густерой. Река зарегулирована Ивановским водохранилищем, что предотвращает миграции и размножение лосося и кумжи. Плотность молоди кумжи на обследованных эталонных участках (на НВУ) не превышает 0,001 экз/м^2 Судя по условиям этих биотопов, при отсутствии зарегулированности и антропогенного загрязнения потенциальная плотность молоди лосося и кумжи на НВУ могла составлять 0,5-1,0 экз/м^2, т.е. быть весьма высокой.

В р.Вруде обитают: лосось балтийский, кумжа, форель, плотва, окунь, ерш, уклея, бычок-подкаменщик, верховка, щука, налим, лещ, язь, пескарь. Общая площадь потенциальных нерестилищ и НВУ лососевых в р.Вруде составляет около 3 га на протяжении 60 км от устья. На обследованных участках плотность молоди лосося и кумжи не превышает 0,001 экз/м^2 для каждого из видов. На этих участках доминировали: верховка (плотность – 0,04-1,50 экз/м^2); пескарь (0,02-0,05 экз/м^2); бычок-подкаменщик (0,02-0,05 экз/м^2); уклея (до 0,01 экз/м^2). Плотность хищников (налима и щуки) на НВУ также невелика: около 0,0003 экз/м^2 каждого из видов.

В р.Лемовже обитают: лосось балтийский, кумжа, форель, плотва, окунь, ерш, уклея, щука, язь. Общая площадь потенциальных нерестилищ и НВУ лососевых в р.Лемовже составляет около 2,8 га на протяжении 48 км от устья. На обследованном эталонном участке плотность молоди как лосося, так и кумжи не превышает 0,001 экз/м^2 Судя по условиям биотопов, потенциальная плотность молоди обоих видов на НВУ может составлять 0,5 экз/м^2 (при условии их рекультивации и прекращения значимого антропогенного воздействия). На обловленных участках доминировали: плотва (плотность 0,0008 экз/м^2); окунь (0,0004 экз/м^2); язь (0,0004 экз/м^2). Плотность хищников (щука) не превышает 0,0002 экз/м^2

Условия р.Азика хорошо соответствуют экологической валентности молоди лосося и кумжи. На обследованном участке ручья особи обоих видов нами не обнаружены. Плотность форели составляла около 0,02 экз/м^2; был учтен также один экземпляр ельца.

Таким образом, по совокупности изучавшихся абиотических и биотических характеристик гидроэкосистемы все изучавшиеся водотоки следует отнести к категории олиго-β-мезосапробных («умеренно загрязненных») со средней продуктивностью. Исключение составляет участок р.Луги ОАО «Фосфорит», где воды соответствуют характеристикам α-β-мезосапробного («загрязненного») малопродуктивного водотока. При этом антропогенное воздействие привело к существенному лимитированию биоты. В частности, популяционные плотности ценных гидробионтов, высокочувствительных к качеству среды, оказались в изучавшихся реках на два и более порядка меньше потенциальных.

Дальнейшее увеличение антропогенной нагрузки на лужскую гидроэкосистему (до $Y = 3$, т.е. на 30 % по сравнению с современным уровнем) способно вызвать необратимые изменения ее состояния и утрату запасов ценных гидробионтов. Пока антропогенные изменения гидроэкосистемы еще являются обратимыми ($Y \leq 2{,}3$; деградация гидроэкосистем происходит при $Y \geq 3$, Шуйский, 1997; Шуйский и др., 2000). Соответственно, уменьшение антропогенного воздействия до уровня, не лимитирующего биоту (до $Y < 1$, т.е., как минимум, в 2,5 раза по сравнению с современным уровнем), должно обеспечить резкое увеличение запа-

сов ценных гидробионтов в изучавшихся водотоках. Необходимость указанного ограничения общего уровня воздействия ОАО «Фосфорит» на лужскую гидроэкосистему особенно актуальна в связи с наблюдающимся возрастанием объема производимой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных гидроэкологических исследований выявляют достоверное, существенное влияние ОАО «Фосфорит» на многие абиотические и все основные биотические показатели лужской гидроэкоситсемы. При этом наиболее значительными и показательными являются изменения макрозообентоса. Мера результирующего антропогенного воздействия на гидроэкосистему (Y кратность превышения воздействием запаса прочности сообществ) под влиянием ОАО «Фосфорит» увеличивается с 1,7 до 2,3. Воздействие на лужскую гидроэкосистему происходит не только при сбросе сточных вод, но и путем переноса поллютантов в атмосфере, поскольку характерные изменения испытывают и притоки р.Луги, расположенные выше комбината по течению. При этом запас прочности гидроэкосистемы притоков к воздействию местами превышается почти двукратно (Y до 1,8). Следует заметить, что воздействие ОАО «Фосфорит» на гидроэкосистему все же менее интенсивно, чем можно предположить, принимая во внимание специфику технологии производства удобрений и масштабы накопления вторичных отходов. До настоящего времени наблюдаемые изменения лужской экосистемы в зоне влияния ОАО «Фосфорит» можно считать обратимыми. Следовательно, при увеличении экологической безопасности производства пока еще возможно постепенное самоочищение, возвращение исходных параметров речной экосистемы и восстановление запасов ценных гидробионтов. При дальнейшем усилении антропогенного воздействия на лужскую экосистему всего на 30 % по сравнению с современным уровнем резко возрастает вероятность ее быстрой и необратимой деградации во всей зоне влияния ОАО «Фосфорит». Это обусловливает повышенные требования к разработке и реализации системы природоохранных мероприятий для ОАО «Фосфорит», особенно с учетом роста объема производимой продукции, происходящего в последние годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. Л.К.Исаева. СПб: Эколого-аналитический информационный центр «Союз», 1998. 896 с.

2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при количественных гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах / ГосНИОРХ. Л., 1983-1984. 52 с.

3. *Шуйский В.Ф.* Закономерности лимитирования пресноводного макрозообентоса экологическими факторами: Автореф. дис. докт. биол. наук / СПГГИ. СПб, 1998. 639 с.

4. *Шуйский В.Ф.* Сравнительная оценка аддитивной, мультипликативной и изоболической моделей многофакторных воздействий на биосистемы / В.Ф.Шуйский, Ю.В.Шувалов, М.А.Перевозников, М.А.Пашкевич, Т.П.Занцинская, Д.С.Петров, Е.Е.Морозова, А.В.Савченко, Н.А.Максимовская, С.А.Маковский, Т.А.Петрова, М.Л.Матюшонок // Сб. научных трудов ГосНИОРХ. СПб, 2000. Вып.326. С.118-130.