

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12>

**ОЦЕНКА И СНИЖЕНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ
ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РЕЧНУЮ ЭКОСИСТЕМУ**

Научная статья

Еськова М.В.^{1,*}, Петров Д.С.²

² ORCID : 0000-0001-9101-7972;

^{1,2} Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eskova.m1[at]list.ru)

Аннотация

Статья посвящена определению негативного воздействия промышленного предприятия «ПГ «Фосфорит» на экосистему р. Луга. В ходе исследования произведен отбор проб сточных вод на промплощадке предприятия и природных вод в зоне воздействия производства, а также выполнен анализ на наличие загрязняющих веществ в исследуемых пробах. Результаты проведенного исследования показали высокие значения концентраций ряда биогенных элементов (фосфаты, соединения азотной группы и др.), тяжелых металлов (железо, марганец) и других веществ. Полученные данные позволяют сделать вывод о существующей антропогенной нагрузке на речную экосистему выбранного района и необходимости реализации мероприятий по модернизации системы очистки производственных сточных вод.

Ключевые слова: промышленность, речная экосистема, эвтрофикация.

**EVALUATION AND MITIGATION OF THE NEGATIVE IMPACT OF THE PHOSPHATE FERTILISER
PRODUCTION FACILITY ON THE RIVER ECOSYSTEM**

Research article

Eskova M.V.^{1,*}, Petrov D.S.²

² ORCID : 0000-0001-9101-7972;

^{1,2} Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (eskova.m1[at]list.ru)

Abstract

The article is dedicated to determining the negative impact of the industrial enterprise "IG "Phosphorit" on the ecosystem of the Luga River. In the course of the study, wastewater samples were taken at the industrial site of the enterprise and natural waters in the zone of production impact, as well as analysed for the presence of pollutants in the samples. The results of the research showed high concentrations of a number of biogenic elements (phosphates, nitrogen group compounds, etc.), heavy metals (iron, manganese) and other substances. The obtained data allow to draw a conclusion about the existing anthropogenic load on the river ecosystem of the selected area and the necessity to implement measures for modernisation of the industrial wastewater treatment system.

Keywords: industry, river ecosystem, eutrophication.

Введение

Современные исследования, связанные с интегральной оценкой эвтрофирования водных экосистем, приурочены к территориям с высокой степенью антропогенной нагрузки. В северо-западной части России такой зоной является восточное побережье Финского залива, относящееся к району Балтийского моря [1], [2]. Определяющим фактором высокой степени эвтрофикации является рост техногенной нагрузки в рассматриваемом регионе [3]. На крупных реках, несущих свои воды в Финский залив, расположено значительное количество производств, сбрасывающих загрязненные биогенными элементами сточные воды. Своевременное выявление такого рода загрязнения позволит предотвратить «цветение» и «зарастание» водоёма [4], [5].

Одним из крупных водотоков Ленинградской области, впадающих в Финский залив, является река Луга. Водоток непосредственно транспортирует промышленные стоки, которые аккумулируются в заливе. Потенциально опасным в этом отношении производством оказывается «ПГ «Фосфорит» [6], относящаяся в настоящее время к МХК «Еврохим», специализирующейся на производстве фосфорных удобрений и кормовых фосфатов в Северо-Западной части РФ [7], [8]. Ввиду проведенной в 2015–2016 гг. реконструкции очистных сооружений предприятия, возникает необходимость рассмотреть данный участок реки и оценить химический состав сточных и природных вод. В рамках летних экспедиционных исследований в месте водовыпуска предприятия проведена работа по выявлению загрязнения водного объекта.

Методы и принципы исследования

Исследование производилось в июне 2024 г. Для определения гидрохимических показателей первоначально проводилась рекогносцировка территории с последующим пробоотбором. При первичном осмотре местности визуально наблюдается водная растительность, покрывающая обширные участки по всей ширине реки. Отбор проб осуществлялся согласно действующим методикам [9], [10] по схеме на рисунке 1. Точки пробоотбора были выбраны

таким образом, чтобы учесть фоновые концентрации веществ, а также определить вклад предприятия в общее загрязнение реки.

Пробы воды были доставлены в лабораторию и помещены в холодильную камеру, параллельные пробы были законсервированы серной кислотой до $\text{pH} < 2$, в соответствии с [11]. Определение тяжелых металлов в пробах производилось при помощи оптической эмиссионной спектроскопии на приборе ICPE-9000, фосфатов, аммония, нитратов — фотоколориметрическим способом (при анализе использовался фотоколориметр Экотест-2020), сульфатов — титрованием, фосфора общего — методом спектрофотометрии (спектрофотометр DR 5000). Результаты анализа химического состава отобранных проб сравнивались с нормативами, установленными приказом Министерства сельского хозяйства РФ для водных объектов рыбохозяйственного значения [12].

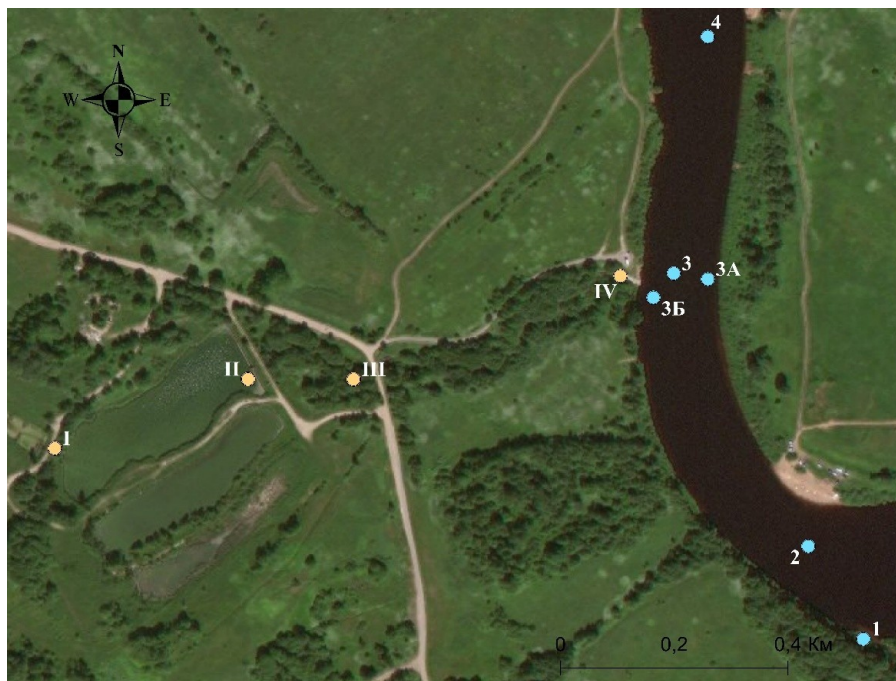


Рисунок 1 - Точки пробоотбора сточных и природных вод вблизи предприятия «ПГ «Фосфорит»
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.1>

Примечание: SasPlanet, ArcGis; составлено авторами

Основные результаты

Точки отбора I, II, III, IV — расположены на руч. Горский по течению сточных вод с промплощадки предприятия до впадения в р. Луга. При этом пробы в точках I и II были отобраны до и после прохождения производственных сточных вод пруда-отстойника, который является завершающим звеном в системе водоочистки предприятия. Ниже расположено ГТС в виде дамбы, перед которой определена следующая точка отбора — III. Последняя точка отбора стоков на ручье располагается за 20 м от места водовыпуска.

Точки отбора 1–4 распределены в р. Луга, где 1 — устье р. Падожница (левый приток реки Луга), 2 — точка отбора, находящаяся в 250 м выше выпуска сточных вод, принятая за фон, 3 — точка в створе выпуска сточных вод в фарватере, 3А — в правобережной части, 3Б — в левобережной, 4 — 250 м ниже по течению в фарватере реки. Все пробы в точках были отобраны на глубине 1,5 м, при средней глубине реки 6 м.

Результаты элементного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты анализа проб воды методом ICP

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.2>

№	Al^{3+} , мг/дм ₃	Ba^{2+} , мг/дм ₃	Ca^{2+} , мг/дм ₃	Cu^{2+} , мг/дм ₃	Fe^{2+} , мг/дм ₃	K^{+} , мг/дм ₃	Mg^{2+} , мг/дм ₃	Mn^{2+} , мг/дм ₃	Na^{+} , мг/дм ₃	Sr^{2+} , мг/дм ₃	Zn^{2+} , мг/дм ₃
I	0,34	0,11	119	0,003	1,7	20,7	100	0,76	124	0,35	0,22
III	0,22	0,099	119	менее 0,001	1,2	19,1	93,1	0,67	119	0,37	0,14
IV	0,19	0,09	117	0,002	1,2	18,1	92,9	0,65	120	0,37	0,13

№	Al ³⁺ , мг/дм ³	Ba ²⁺ , мг/дм ³	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Cu ²⁺ , мг/дм ³	Fe ²⁺ , мг/дм ³	K ⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Mn ²⁺ , мг/дм ³	Na ⁺ , мг/дм ³	Sr ²⁺ , мг/дм ³	Zn ²⁺ , мг/дм ³
2 (фон)	0,098	0,14	47,6	менее 0,001	0,3	2,1	21,6	0,05	7,97	0,07	0,002
3	0,04	0,14	47,2	менее 0,001	0,3	2,3	21,9	0,11	8,22	0,07	0,006
4	0,11	0,14	47,4	менее 0,001	0,3	2,7	22,1	0,11	8,78	0,07	0,007
ПДК р/х	0,04	0,74	180	0,001	0,1	50	40	0,01	120	0,4	0,01

Примечание: составлено авторами

В отдельных отобранных пробах сточных вод (точки отбора I, III, V) наблюдаются превышения предельно допустимых концентраций по марганцу в 76 раз, цинку в 22, железу в 17 раз, алюминию в 8,5, меди и магнию почти в 3 раза. При этом значения концентраций в сточных водах снижаются по направлению к водовыпуску. Превышения по марганцу, железу, алюминию, меди и магнию обусловлены обработкой апатитового концентрата в процессе производства КОФ. Увеличенное содержание цинка в сточных водах возможно в связи с использованием оцинкованных труб для водоотведения. Также источником поступления перечисленных загрязнённых веществ являются проводимые работы во вспомогательном железнодорожном цехе. Отметим, что существенного роста концентраций перечисленных ионов в природных водах ниже выпуска сточных вод не наблюдается.

При проведении работ на предприятии в цехах ПСК и ЭФК образуются и попадают в сточные воды такие вещества, как магний, соединения азота, сульфаты и фосфаты [13].

В таблице 2 представлены результаты анализа воды на ионы биогенных элементов [14], [15], [16] в отобранных пробах.

Таблица 2 - Результат анализа проб воды на ионы биогенных элементов

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.3>

№	NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	PO ₄ ³⁻ (по Р), мг/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³
I	28,98	37,51	177,18	768,48
II	14,79	41,16	429,73	1283,36
III	19,78	34,61	298,78	810,75
IV	20,10	36,5	411,02	1652,23
1	0,80	5,5	48,59	261,28
2 (фон)	0,15	0,008	14,91	73,01
3	0,30	0,015	15,85	57,64
3А	0,08	0,016	13,04	80,69
3Б	менее 0,01	0,01	13,04	161,38
4	0,03	0,009	17,72	142,17
ПДК р/х	0,5	0,2 (по Р)	40,00	100,00

Примечание: составлено авторами

Увеличение концентрации фосфатов, нитратов и сульфатов в отобранной пробе в точке II свидетельствует о чрезмерном накоплении загрязнённых веществ в пруде-отстойнике, который уже не выполняет функцию по удалению загрязнителей. Наоборот, происходит избыточное накопление биогенных элементов, которое транспортируется со сточными водами в реку. Из рассматриваемых трех отстойников в рабочем состоянии находится только один. Два других характеризуются высокой степенью эвтрофикации, и в процессе антропогенной сукцессии трансформируются в болото.

Полученные значения имеют между собой высокий показатель (в среднем, более 0,93) корреляции, что подтверждает достоверность полученных данных. Расчётная кратность разбавления сточных вод в природных водах составляет 196. Таким образом, снижение концентраций в пробах, отобранных в р. Луга, определяется смешением

сточных и речных вод. Необходимо учитывать поступление загрязненных вод, которые несёт вышележащий приток Луги — р. Падожница, о чем свидетельствуют результаты анализа пробы 1. Однако следует отметить превышение нормативных значений по сульфатам в 1,6 раз в месте сброса и ниже по течению от водовыпуска. Значительное содержание биогенов в сточных водах после очистных сооружений показывает недостаточную эффективность водоочистки, особенно по фосфатам, где максимальная концентрация в 206 раз выше ПДК_{р/х}.

Поскольку фосфор является главным химическим фактором, определяющим процесс эвтрофикации гидросистем, в дополнение к определению концентрации растворенной фосфатной формы в пробах был определен общий фосфор согласно [17].

Таблица 3 - Определение массовой концентрации фосфора в воде

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.4>

№	мг/дм ³
I	190,2
II	237,2
III	327,1
IV	416,0
1	7,8
2 (фон)	0,04
3	5,9
3А	0,07
3Б	0,04
4	0,04

Примечание: составлено авторами

Содержание общего фосфора в настоящее время не нормируется [18], [19], однако отмечается что в слабо загрязненных природных водах оно может составлять тысячные или сотые, очень редко десятые доли миллиграммов в литре [20], [21], [22]. Представленные в таблице данные подтверждают наличие высоких концентраций минеральных и органических фосфорсодержащих соединений [23], [24], [25] как в растворенной, так и во взвешенной форме.

Заключение

Высокое содержание отдельных загрязняющих веществ в сточных водах предприятия указывает на недостаточную эффективность очистных сооружений предприятия, что может оказать влияние на трофический статус реки. В настоящее время на территории предприятия действует система локальных очистных установок, после которых вода поступает на карты для отстаивания и в дальнейшем, частично, используется в производственном цикле. Сравнение данных таблиц 2 и 3 показывает, что по мере прохождения пруда-отстойника доля минеральных форм фосфора в общем содержании снижается, и в конечном итоге, после сброса сточных вод в реку концентрация общего фосфора достигает 5,9 мг/л.

Для снижения негативного воздействия на экосистему реки можно предложить дополнительный этап очистки промышленных стоков, например, использование высокоэффективных химических реагентов. На данный момент среди химических способов очистки сточных вод от биогенных элементов, используются коагулянты на основе полиоксихлорида алюминия, алюмината натрия, хлорида железа, сульфата железа. Опыт внедрения на территории Ленинградской области отдельными организациями на стадии доочистки коагулянта сульфата железа показал, что с его помощью удалось добиться снижения концентраций фосфора в сточных водах до уровня, обозначенного ХЕЛКОМ.

Результаты исследования показали, что с учетом специфики и масштабов предприятия «ПГ «Фосфорит», а также достаточно высокого показателя разбавления, в настоящее время уровень воздействия на водную экосистему оказался меньше ожидаемого. При этом, учитывая динамику производства, возникает необходимость модернизации технологии очистки сточных вод, а также проведения регулярных наблюдений за состоянием сточных и природных вод вблизи производственной площадки.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.5>

Conflict of Interest

None declared.

Review

International Research Journal Reviewers Community
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.12.5>

Список литературы / References

1. Elmgren R. Baltic Sea management: Successes and failures. *Ambio: A Journal of the Human Environment*. / R. Elmgren, T. Blenckner, A. Andersson // Special Iss.. — 2015. — № 3. — P. 335–344.
2. Bonsdorff E. Some ecological properties in relation to eutrophication in the Baltic Sea. / E. Bonsdorff, C. Rönnerberg, K. Aarnio // *Hydrobiologia*. — 2002. — № 1. — P. 371–377.
3. Meier H.E.M. Disentangling the impact of nutrient load and climate changes on Baltic Sea hypoxia and eutrophication since 1850. / H.E.M. Meier, K. Eilola, E. Almroth-Rosell et al. // *Climate Dynamics*. — 2019. — № 1-2. — P. 1145–1166.
4. Петров Д.С. Гидрохимическая характеристика и экологическое состояние водных экосистем в зоне влияния предприятия по производству минеральных удобрений. / Д.С. Петров, А.С. Данилов // *Горный журнал*. — 2023. — № 9. — С. 83–88.
5. Kabel K. Impact of climate change on the Baltic Sea ecosystem over the past 1,000 years. / K. Kabel, M. Moros, C. Porsche et al. // *Nature Climate Change*. — 2012. — № 2. — P. 871–874.
6. Matveeva V.A. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer. / V.A. Matveeva, Yu.D. Smirnov, D.V. Suchkov // *Environmental Geochemistry and Health*. — 2022. — № 5. — P. 1605–1618.
7. Бродская Н.А. Влияние промышленного комплекса на режим и состав природных вод: На примере КПО "Фосфорит": автореф. / Н.А. Бродская — Санкт-Петербург : 1992. — 17 с.
8. Knuuttila S. Nutrient inputs into the Gulf of Finland: Trends and water protection targets. / S. Knuuttila, A. Räske, P. Ekholm et al. // *Journal of Marine Systems*. — 2017. — № 1. — P. 54–64.
9. ПНД Ф 12.15.1-08 Методические указания по отбору проб для анализа сточных вод
10. РД 5.2.24.353- 2012 Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод
11. ГОСТ 31861- 2012 Вода. Общие требования к отбору проб
12. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Минсельхоза России N 552 от 13.12.2016. — С. 151.
13. МВИ 15-142а-12 Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфатов в пробах питьевой и природных вод титрованием солью бария.
14. МВИ-04-148-10 Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в пробах питьевой и природных вод фотометрическим методом
15. МВИ-05-240-10 Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в пробах питьевой и природной вод фотометрическим методом
16. РД.52.24.380-2006 Массовая концентрация нитратов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса
17. РД.52.24.387-2019 Массовая концентрация фосфора общего и фосфора валового в водах. Методика измерений фотометрическим методом после окисления персульфатом калия
18. Фосфорит. — URL: <https://chemicalportal.ru/factories/ooo-promyshlennaya-gruppa-fosforit/?ysclid=m6uk035oq4885164173> (дата обращения: 16.02.2025).
19. Павлова Т.П. Интенсификация очистки сточных вод от фосфатов в биологических очистных сооружениях. / Т.П. Павлова, Л.Ф. Галанцева, С.В. Фридланд // *Вестник Казанского технологического университета*. — 2011. — № 1. — С. 134–136.
20. Коагулянты, Флокулянты, Полиэлектролиты. — URL: <https://www.vo-da.ru/articles/koagulyantiy-polielektrolityi-koagulyruyushchie-agenty-i-neorganicheskie-koagulyantiy> (дата обращения: 16.02.2025).
21. Кинебас А.К. Опыт внедрения химического осаждения фосфора: от лабораторных тестов до промышленной эксплуатации. / А.К. Кинебас, Е.Д. Нефёдова, О.Н. Рублевская и др. // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 2011. — № 1. — С. 1–46.
22. Рублевская О.Н. Обоснование применения сульфата алюминия для удаления фосфора из сточных вод на очистных сооружениях Санкт-Петербурга. / О.Н. Рублевская, Д.Е. Колосов, Г.А. Панкова // *Водоснабжение и санитарная техника*. — 2013. — № 7. — С. 1–63.
23. План действий ХЕЛКОМ по Балтийскому морю / Министерское заседание ХЕЛКОМ. — Краков, 2007.
24. Маслобоев В.А. Методы снижения концентрации сульфатов в сточных водах горнорудных предприятий. / В.А. Маслобоев, В.Е. Вигдергауз, Д.В. Макаров // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2017. — № 1. — С. 99–114.
25. Пробирский М.Д. Опыт химического удаления фосфорных соединений из сточных вод на канализационных очистных сооружениях гуп «Водоканал Санкт-Петербурга». / М.Д. Пробирский, Г.А. Панкова, О.Ф. Ломинова // «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». — 2015. — № 1. — С. 62–67.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Elmgren R. Baltic Sea management: Successes and failures. *Ambio: A Journal of the Human Environment*. / R. Elmgren, T. Blenckner, A. Andersson // Special Iss.. — 2015. — № 3. — P. 335–344.
2. Bonsdorff E. Some ecological properties in relation to eutrophication in the Baltic Sea. / E. Bonsdorff, C. Rönnerberg, K. Aarnio // *Hydrobiologia*. — 2002. — № 1. — P. 371–377.
3. Meier H.E.M. Disentangling the impact of nutrient load and climate changes on Baltic Sea hypoxia and eutrophication since 1850. / H.E.M. Meier, K. Eilola, E. Almroth-Rosell et al. // *Climate Dynamics*. — 2019. — № 1-2. — P. 1145–1166.
4. Petrov D.S. Gidroximicheskaya xarakteristika i e'kologicheskoe sostoyaniye vodny'x e'kosistem v zone vliyaniya predpriyatiya po proizvodstvu mineral'ny'x udobrenij [Hydrochemical characteristics and ecological status of aquatic ecosystems in the zone of influence of the enterprise for the production of mineral fertilizers]. / D.S. Petrov, A.S. Danilov // *Mining Journal*. — 2023. — № 9. — P. 83–88. [in Russian]

5. Kabel K. Impact of climate change on the Baltic Sea ecosystem over the past 1,000 years. / K. Kabel, M. Moros, C. Porsche et al. // *Nature Climate Change*. — 2012. — № 2. — P. 871–874.
6. Matveeva V.A. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer. / V.A. Matveeva, Yu.D. Smirnov, D.V. Suchkov // *Environmental Geochemistry and Health*. — 2022. — № 5. — P. 1605–1618.
7. Brodskaya N.A. Vliyanie promyshlennogo kompleksa na rezhim i sostav prirodnih vod: Na primere KPO "Fosforit" [The influence of the industrial complex on the regime and composition of natural waters: On the example of KPO Phosphorite]: abstract. / N.A. Brodskaya — St. Petersburg : 1992. — 17 p. [in Russian]
8. Knuuttila S. Nutrient inputs into the Gulf of Finland: Trends and water protection targets. / S. Knuuttila, A. Räike, P. Ekholm et al. // *Journal of Marine Systems*. — 2017. — № 1. — P. 54–64.
9. PND F 12.15.1-08 Metodicheskie ukazaniya po otboru prob dlja analiza stochnyh vod [HDPE F 12.15.1-08 Guidelines for sampling for wastewater analysis] [in Russian]
10. RD 5 2.24.353- 2012 Otkor prob poverhnostnyh vod sushi i ochishhennyh stochnyh vod [RD 5 2.24.353- 2012 Sampling of land surface waters and treated wastewater] [in Russian]
11. GOST 31861- 2012 Voda. Obshhie trebovaniya k otboru prob [GOST 31861- 2012 Water. General sampling requirements] [in Russian]
12. Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnyh ob'ektov rybohozjajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv v vodah vodnyh ob'ektov rybohozjajstvennogo znachenija [On approval of water Quality standards for water bodies of fisheries significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fisheries significance]: Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 552 dated 12/13/2016. — P. 151 [in Russian]
13. MVI 15-142a-12 Metodika vypolnenija izmerenij massovoj koncentracii sul'fatov v probah pit'evoj i prirodnih vod titrovaniem sol'ju barija [MVI 15-142a-12 is a method for measuring the mass concentration of sulfates in samples of drinking and natural waters by titration with barium salt]. [in Russian]
14. MVI-04-148-10 Metodika izmerenij massovoj koncentracii ionov ammonija v probah pit'evoj i prirodnih vod fotometricheskim metodom [MVI-04-148-10 The method of measuring the mass concentration of ammonium ions in samples of drinking and natural waters by photometric method] [in Russian]
15. MVI-05-240-10 Metodika izmerenij massovoj koncentracii fosfat-ionov v probah pit'evoj i prirodnoj vod fotometricheskim metodom [MVI-05-240-10 The method of measuring the mass concentration of phosphate ions in samples of drinking and natural waters by photometric method] [in Russian]
16. RD.52.24.380-2006 Massovaja koncentracija nitratov v vodah. Metodika vypolnenija izmerenij fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa [RD.52.24.380-2006 The mass concentration of nitrates in waters. The method of performing measurements using the photometric method with Griss reagent] [in Russian]
17. RD.52.24.387-2019 Massovaja koncentracija fosfora obshhego i fosfora valovogo v vodah. Metodika izmerenij fotometricheskim metodom posle okislenija persul'fatom kalija [RD.52.24.387-2019 Mass concentration of total phosphorus and total phosphorus in waters. Photometric measurement method after oxidation with potassium persulfate] [in Russian]
18. Fosforit [Phosphorite]. — URL: <https://chemicalportal.ru/factories/ooo-promyshlennaya-gruppa-fosforit/?ysclid=m6uk035oq4885164173> (дата обращения: 16.02.2025). [in Russian]
19. Pavlova T.P. Intensifikaciya ochistki stochny'x vod ot fosfatov v biologicheskix ochistny'x sooruzheniyax [Intensification of wastewater treatment from phosphates in biological treatment plants]. / T.P. Pavlova, L.F. Galanceva, S.V. Fridland // *Bulletin of Kazan Technological University*. — 2011. — № 1. — P. 134–136. [in Russian]
20. Koagulyanty, Flokulyanty, Polijektrolity [Coagulant, flocculant, polyelectrolyte]. — URL: <https://www.vo-da.ru/articles/koagulyanty-poliektrolity-koaguliruyuschie-agenty/neorganicheskie-koagulyanty> (accessed: 16.02.2025). [in Russian]
21. Kinebas A.K. Opyt vnedreniya ximicheskogo osazhdeniya fosfora: ot laboratorny'x testov do promy'shlennoj e'kspluatatsii. [Experience in the implementation of chemical phosphorus deposition: from laboratory tests to industrial operation.]. / A.K. Kinebas, E.D. Nefyodova, O.N. Rublevskaya et al. // *Water supply and sanitary equipment*. — 2011. — № 1. — P. 1–46. [in Russian]
22. Rublevskaya O.N. Obosnovanie primeneniya sul'fata alyuminiya dlya udaleniya fosfora iz stochny'x vod na ochistny'x sooruzheniyax Sankt-Peterburga [Justification of the use of aluminum sulfate for the removal of phosphorus from wastewater at wastewater treatment plants in St. Petersburg]. / O.N. Rublevskaya, D.E. Kolosov, G.A. Pankova // *Water supply and sanitary equipment*. — 2013. — № 7. — P. 1–63. [in Russian]
23. Plan dejstvij HELKOM po Baltijskomu morju [HELCOM Baltic Sea Action Plan] / HELCOM Ministerial meeting. — Krakow, 2007. [in Russian]
24. Masloboev V.A. Metody snizheniya koncentracii sul'fatov v stochny'x vodax gornorudny'x predpriyatij [Methods for reducing sulfate concentrations in wastewater from mining enterprises]. / V.A. Masloboev, V.E. Vigdergauz, D.V. Makarov // *Bulletin of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. — 2017. — № 1. — P. 99–114. [in Russian]
25. Probirskij M.D. Opyt ximicheskogo udaleniya fosforny'x soedinenij iz stochny'x vod na kanalizacionny'x ochistny'x sooruzheniyax gup «Vodokanal Sankt-Peterburga» [Experience of chemical removal of phosphorous compounds from wastewater at sewage treatment plants of SUE Vodokanal of St. Petersburg]. / M.D. Probirskij, G.A. Pankova, O.F. Lominoga // "Water treatment. Water treatment. Water supply". — 2015. — № 1. — P. 62–67. [in Russian]