

Оценка воздействия фильтрационных вод полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов и активных илов на качество воды малых рек гумидной зоны

© 2021. М. В. Зобков, к. т. н., с. н. с., М. В. Зобкова, м. н. с.,
А. В. Сабьлина, к. х. н., с. н. с., Т. А. Ефремова, м. н. с.,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
185030, Россия, г. Петрозаводск, пр. А. Невского, д. 50,
e-mail: duet@onego.ru

На основании сезонных изменений химического состава воды малых водотоков (рек Нелукса и Сельгская) и фильтрационных вод полигонов захоронения твёрдых бытовых отходов (ТБО) и активных илов (АИ) станции биологической очистки г. Петрозаводска, определены химические компоненты-маркеры воды этих полигонов. Такими для полигона АИ являются компоненты ионного состава (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), содержание органического вещества (биохимическое потребление кислорода за 5 суток, цветность, химическое потребление кислорода, перманганатная окисляемость, $\text{C}_{\text{орг}}$), биогенных элементов и их форм ($\text{P}_{\text{общ}}$, $\text{P}_{\text{мин}}$, NH_4^+ , NO_2^- , $\text{N}_{\text{общ}}$, $\text{N}_{\text{орг}}$), газов (CO_2 , O_2), тяжёлых металлов (Mn, Cr, Co, Zn, Ni, Cu), а также электропроводность, взвешенные вещества, pH, фенолы и синтетические поверхностно-активные вещества. Маркерами воздействия полигона ТБО являлись Na^+ , Cl^- , pH, HCO_3^- , CO_2 , NO_3^- , $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Mn^{2+} .

На основе водного баланса полигонов, определён объём эмиссии химических веществ с их территории, а также их вклад в вынос этих веществ с реками в Онежское озеро. Так, на долю полигона АИ приходится около 20% всех выносимых рекой взвешенных веществ, 17% органических легкоокисляемых веществ, 14% NO_2^- , 3,2% $\text{N}_{\text{орг}}$ и 10% $\text{N}_{\text{общ}}$. При этом весь NH_4^+ , выносимый рекой, поступает с полигона. Наиболее значимый вклад в вынос химических веществ с водами р. Нелукса полигон ТБО вносит по NH_4^+ (12%), $\text{N}_{\text{общ}}$ (2,0%), Cl^- (2,5%) и Na^+ (1,2%). За счёт небольшого объёма поступления сточных вод с полигона ТБО, загрязнение р. Нелукса в настоящий момент незначительное, и на всём течении её воды относятся к слабо загрязнённым. Установлено, что основной сток загрязнённых вод поступает в р. Сельгскую, вода которой классифицируется как грязная ниже точки впадения стоков полигона АИ.

Ключевые слова: фильтрационные воды, твёрдые бытовые отходы, активные илы, химический баланс, загрязнение.

Assessment of the impact of seepage waters in landfills for solid waste and activated sludge on the water quality of small rivers in the humid zone

© 2021. M. V. Zobkov ORCID: 0000-0003-3859-3991, M. V. Zobkova ORCID: 0000-0002-8106-3665,
A. V. Sabylina ORCID: 0000-0003-4753-8046, T. A. Efremova ORCID: 0000-0003-1074-1083
Northern Water Problems Institute,
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences,
50, Al. Nevsky St., Petrozavodsk, Russia, 185030,
e-mail: duet@onego.ru

Based on seasonal studies of chemical compound of drainage waters of landfill site, active sludge dump and small rivers (Neluksa and Sel'gskaya) draining their territory, the chemical markers of the waste dump impact were established. Water and chemical balance of waste dumps is established and the volumes of different chemical components discharge with drainage waters and rivers into the Lake Onego are calculated. River heads were not contaminated and were considered as a background stations. Drain waters of active sludge dump strongly contaminate the Sel'gskaya river water downstream their inlet point. Contamination was established by the following chemical variables: mineral composition (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), organic matter (BOD_5 , Color, COD_{Cr} , COD_{Mn} , TOC), nutrients (P_{tot} , $\text{P}_{\text{мин}}$, NH_4^+ , NO_2^- , N_{tot} , $\text{N}_{\text{орг}}$), gases (CO_2 , O_2), heavy metals (Mn, Cr, Co, Zn, Ni, Cu), conductivity, suspended matter, pH, phenols, and synthetic surfactants. These components were considered as markers of active sludge impact. Active sludge dump makes up 20% of suspended matter, 17% of labile organics (BOD_5), 14% NO_2^- , 3,2% $\text{N}_{\text{орг}}$, and 10% N_{tot} of the total river

discharge. All volume of NH_4^+ discharge in the lake is supplied by active sludge dump. The sound influence was also observed for COD_{Cr} (2.5%), COD_{Mn} (2.0%), Cu (4.5%), Zn (2.7%), TDS (3.5%), Cl^- (2.7%) and Na^+ (2.5%).

Drain waters of landfill site affected the Neluksa River in a much lesser degree, differences in chemical composition downstream the drainage waters inlet were established for Na^+ , Cl^- , pH, HCO_3^- , CO_2 , NO_3^- , total Fe, Mn, which can be considered as markers of landfill site impact. The share of landfill site in NH_4^+ discharge is 12%, N_{tot} – 2.0%, Cl^- – 2.5%, and Na^+ – 1.2%. Total petroleum hydrocarbons contamination in the region has diffusive character and mainly originates from precipitation.

Keywords: drainage waters, solid domestic waste, active sludge, chemical balance, contamination.

Образование твёрдых бытовых отходов (ТБО) в последнее время привлекает всё большее внимание с точки зрения их влияния на состояние окружающей среды (ОС). Ежегодно в России образуется порядка 55–60 млн т ТБО [1], из них вторичной переработке подвергается только 3–7%, остальная часть попадает на полигоны и несанкционированные свалки, из которых только 8% соответствует санитарным требованиям [1, 2].

Основными агентами, формирующими воздействие полигона на ОС, являются фильтрат, образующийся в анаэробной зоне полигона, и биогаз, объём образования которых, в свою очередь, зависит от величины инфильтрации атмосферных осадков в тело полигона [3]. Биогаз образуется в результате жизнедеятельности микроорганизмов и в основном состоит из CH_4 и CO_2 , он может содержать более 100 различных примесей, а фильтрат представляет собой токсичный раствор [4].

Город Петрозаводск – важный промышленный центр Республики Карелия с населением около 280 тыс. человек [5], расположен на берегу Онежского озера. Полигон захоронения ТБО и активных илов (АИ) станции биологической очистки сточных вод г. Петрозаводска, расположенный в окрестностях города, является потенциальным источником загрязнения поверхностных и подземных вод. Объём отходов, аккумулирующихся на полигоне, по последним данным, составляет около 812 тыс. м^3 в год [6]. Они представляют собой несортированные твёрдые муниципальные отходы, состоящие в основном из органических веществ (25%), картона (10%), пластиковых бутылок (8%), стекла (8%), полимерных ёмкостей (6%) и полиэтиленовой плёнки (3%) [7].

Климат Республики Карелия с избыточным увлажнением (550–750 мм в год) и малым испарением (310–420 мм в год), а также геоморфологические особенности рельефа с малой мощностью четвертичных отложений [8] способствуют преимущественной миграции поллютантов с поверхностными водами, и в меньшей степени – с подземными и путём эолового переноса.

Цель исследований – изучить влияние полигона захоронения ТБО и АИ на химический состав воды малых притоков Онежского озера.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1) Определить химический состав традиционных вод полигона захоронения ТБО и АИ.

2) Оценить влияние стока полигона на качество воды малых рек, дренирующих его территорию (р. Нелукса и р. Сельгская).

3) Оценить объём выноса химических веществ с полигонов ТБО и АИ, а также со стоком малых рек, подверженных влиянию полигона, в Онежское озеро.

Материалы и методы исследования

Полигон захоронения ТБО и АИ расположен в центральной части Карелии, в районе $61^{\circ}42'$ с. ш. и $34^{\circ}26'$ в. д. на расстоянии 13 км от г. Петрозаводска и 4,5 км от побережья Онежского озера (рис.). Площадь полигона ТБО составляет 31,8 га. Когда в 2004 г. полигон захоронения АИ был образован, его площадь составляла 2,4 га, с тех пор она постепенно расширялась и в настоящий момент составляет 16,5 га [9]. Граница полигонов ТБО и АИ обвалована, ширина обваловки – 2,5–3,0 м. Для сбора и частичной очистки загрязнённых вод на территории полигона организованы отстойники. Воды, вытекающие из отстойников при их переполнении, и воды, напрямую фильтрующиеся с территории полигона через его обваловку, формируют загрязнённый антропогенный сток.

Полигоны расположены на водораздельной территории, подвергнутой лесной мелиорации в первой половине 1970-х гг. Сток с них поступает в малые реки посредством мелиоративных каналов (рис.). С территории полигона АИ часть поверхностного стока поступает в отстойник, концентрируется там и стекает при его переполнении в мелиоративную канаву. Часть стока напрямую отводится с территории полигона АИ в систему мелиоративных каналов, минуя отстойник.

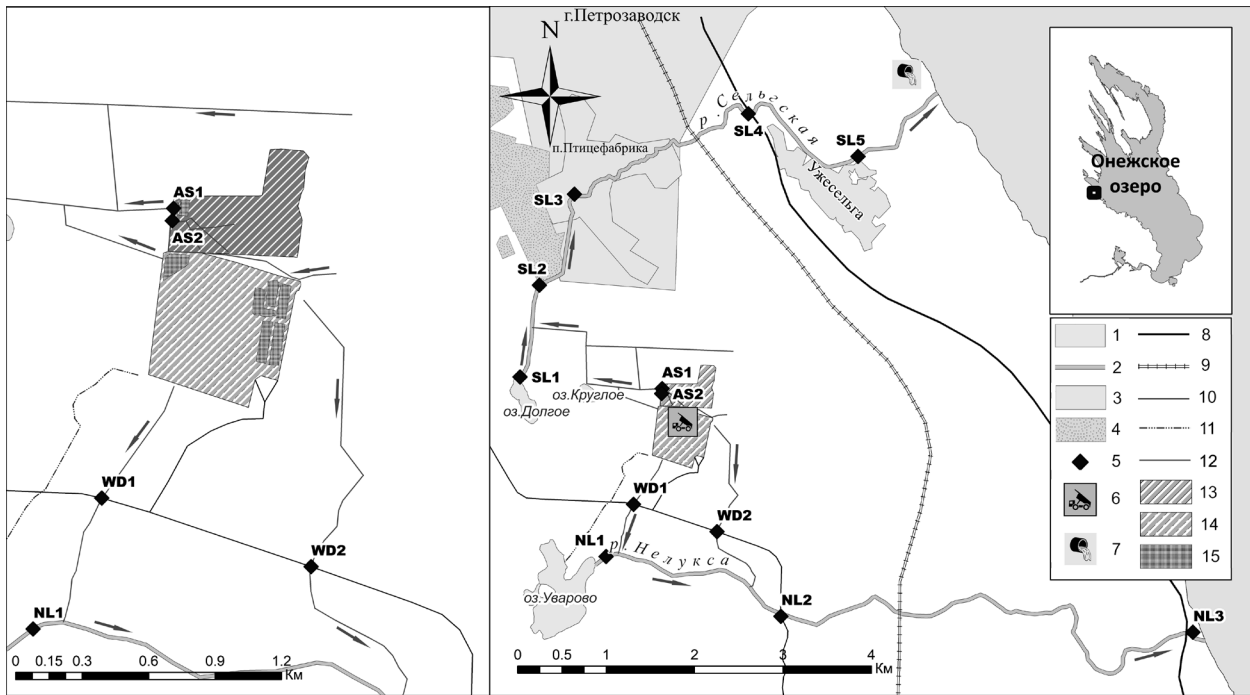


Рис. Схема размещения полигонов ТБО и АИ и станций отбора проб воды:

- 1 – озёра; 2 – реки; 3 – территория населённых пунктов; 4 – помётные поля птицефабрики;
- 5 – станции отбора проб воды; 6 – полигоны захоронения ТБО и АИ; 7 – выпуск сточных вод г. Петрозаводска; 8 – автомагистраль; 9 – железная дорога; 10 – дорога на полигон;

11 – нефункционирующие мелиоративные каналы; 12 – функционирующие мелиоративные каналы

Fig. Map of landfill site and active sludge dump allocation with sampling stations: 1 – lakes; 2 – rivers; 3 – populated places; 4 – manure sludge fields; 5 – sampling stations; 6 – waste dumps; 7 – WWTP discharge; 8 – federal highway; 9 – railway line; 10 – road to waste dumps; 11 – dry drain; 12 – active reclamation system

С полигона ТБО сток направлен на юг и поступает в р. Нелукса, а с полигона АИ – в северо-западном направлении и поступает в р. Сельгская. Реки Нелукса и Сельгская – малые водотоки. Среднегодовой расход воды р. Нелукса составляет $0,29 \text{ м}^3/\text{с}$, длина – $9,7 \text{ км}$, площадь водосбора – $27,3 \text{ км}^2$ [10]. Для р. Сельгской средний расход равен $0,20 \text{ м}^3/\text{с}$, длина – $7,8 \text{ км}$, площадь водосбора – 21 км^2 [11].

Сезонный отбор проб осуществляли в 2017–2020 гг. на 12 станциях. Пробы воды отбирали на фоновых участках (в истоках из озёр, до точки поступления стоков полигонов) и нескольких станциях ниже по течению для отслеживания изменения состава воды и выявления других источников загрязнения (рис.).

Химический анализ проводили по следующим показателям: минерализация, электропроводность и ионный состав воды (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), органическое вещество (ОВ) (цветность, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК), общее содержание органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК_5)),

биогенные элементы ($\text{P}_{\text{общ.}}$, $\text{P}_{\text{мин.}}$, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , $\text{N}_{\text{орг.}}$), растворённые газы (CO_2 , O_2), pH воды, взвешенные вещества, загрязняющие вещества (нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), тяжёлые металлы: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Co, Ni).

Определение химического состава природных вод проводили в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН по аттестованным методикам. Оценка загрязнённости рек выполнена по РД 52.24.643-2002 с использованием удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ). В работе применяли предельно допустимые концентрации (ПДК) для водоёмов рыбохозяйственного назначения [12]. Для статистической обработки данных использовано программное обеспечение SofaStatistics (www.sofastatistics.com). В статистических тестах использовался уровень значимости $p < 0,05$.

Объём выноса веществ с площади полигона ТБО рассчитывали по концентрации веществ в воде и водному балансу полигона, определённого по [13]. Расход на образование

биогаза не учитывали в связи с отсутствием данных. Разницу между биохимически образующей и потребляемой влагой считали равной нулю [14].

Результаты и обсуждение

Фильтрационные воды полигонов.

Фильтрационные воды полигона захоронения АИ были высоко минерализованы (около 0,3–0,4 г/л), относились к гидрокарбонатно-аммонийному типу, вторым главным катионом является ион натрия, вторым анионом – хлорид-ион.

В фильтрате полигона ТБО наблюдалась очень высокая минерализация (более 1 г/л), в составе катионов преобладал ион натрия, вторым по величине содержания катионом был аммоний. В анионном составе преобладали гидрокарбонаты, хлориды также вносили существенный вклад в общую минерализацию. Влияния полигона на станции WD2 не зафиксировано. По всей видимости, сточные воды в неё не поступали в существенном количестве. Характеристика сточных вод полигона ТБО дана по точке WD1.

По косвенным показателям содержания ОВ больше всего выделялись фильтрационные воды полигона ТБО: они имели экстремально высокие показатели ХПК (89,1–298,7 мгО/л), ПО (47,8–105,2 мгО/л) и ЦВ (284–639°). Довольно высокие значения ХПК наблюдались и в фильтрационных водах полигона АИ (148,0–154,8 мгО/л). Эти показатели отражают загрязнение трудноокисляемым ОВ. Фильтрационные воды обоих полигонов также имели высокие значения БПК₅, превышающие ПДК от 4 до 31 раза, что отражает их загрязнение легкоокисляемыми органическими веществами.

Фильтрационные воды полигонов ТБО и АИ различались и по содержанию биогенных элементов. Так, в водах полигона АИ отмечали экстремально высокие концентрации $P_{\text{общ}}$ (выше 1 мг/л), при этом в его составе преобладал $P_{\text{мин}}$ (более 70%). Содержание $P_{\text{общ}}$ в стоке полигона ТБО было в несколько раз ниже, чем АИ, при этом только 35% его представлено $P_{\text{мин}}$. Содержание $N_{\text{общ}}$ составляло 35–71 мг/л, в основном азот в воде содержался в аммонийной форме. Его концентрация особенно велика в стоках полигона ТБО (примерно в 2 раза выше, чем АИ). Также в водах полигона ТБО отмечены высокие концентрации NO_3^- , а содержание NO_2^- было близким для обоих полигонов.

Среди исследованных металлов превышения ПДК в фильтрационных водах отмечено только для Cu (от 6 до 11,5 раз) и Zn (от 2 до 3,7 раз). Концентрация нефтепродуктов в большинстве случаев оставалась ниже ПДК и только в одном случае незначительно её превышала.

Приходная часть водного баланса полигона захоронения АИ на 75% представлена атмосферными осадками и отжимной влагой (25%). Расходная часть обусловлена испарением (25%) и поверхностным стоком фильтрационных вод (75%). Расчётный объём стока фильтрационных вод с территории полигона АИ составляет 102,7 тыс. м³/год. Приходная часть водного баланса полигона ТБО на 83% представлена атмосферными осадками и 17% отжимной влагой; расходная обусловлена испарением (49,6%), влагой, расходуемой на насыщение отходов до полной влагоёмкости (50,0%) и стоком (0,4%). Расчётный объём стока фильтрационных вод с территории полигона ТБО составляет около 1 тыс. м³/год.

Влияние полигонов захоронения ТБО и АИ на состав воды малых водотоков. Истоки рек Нелукса и Сельгская относились к маломинерализованным водам (сумма ионов не более 10 мг/л), имели слабокислую среду (рН в среднем 4,4–4,5) и очень низкое содержание HCO_3^- . В анионном составе преобладали анионы органических кислот, преобладающим катионом на фоновых участках рек являлся Ca^{2+} , что характерно для притоков Онежского озера [15]. Значения БПК₅ в истоках не превышали ПДК, наблюдались минимальные для них концентрации $P_{\text{общ}}$ и $P_{\text{мин}}$: NL1 – 32 и 4 мкг/л, а SL1 – 25 и 2 мкг/л соответственно. Низкая доля $P_{\text{мин}}$ (9–12%) в истоках рек свидетельствует о нахождении фосфора в органической форме, связанной с природными соединениями, что характерно для водных объектов Карелии [16]. Содержание $C_{\text{орг}}$ на фоновых участках рек было относительно низким (22,6–26,5 мг/л), как и других косвенных показателей содержания ОВ. В целом по комплексу исследованных показателей вода в истоках рек характеризовалась как «слабо загрязнённая».

Влияние фильтрационных вод полигонов на химический состав воды прослеживалось на всех участках рек ниже их впадения. В районе впадения стоков полигона АИ в р. Сельгскую выявлены наибольшие отличия от фоновых значений по компонентам ионного состава (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-), органического вещества (БПК₅, ЦВ,

ХПК, ПО, $C_{\text{орг}}$), биогенным элементам ($P_{\text{общ.}}$, $P_{\text{мин.}}$, NH_4^+ , NO_2^- , $N_{\text{общ.}}$, $N_{\text{орг.}}$), газовому составу (CO_2 , O_2), тяжёлым металлам (Mn^{2+} , Cr^{3+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+}), а также электропроводности, взвешенным веществам, рН, фенолам и СПАВ (табл.). Разница в этих показателях для фонового участка и участка ниже впадения стоков полигона АИ была статистически значима (Mann Whitney U-тест; $p < 0,05$), что позволяет использовать их как компоненты-маркеры загрязнения вод стоками полигона АИ. На всех загрязнённых участках реки наблюдалось изменение в составе главных ионов, в частности, преобладающим катионом был ион натрия. Воды р. Сельгской практически на всём течении ниже впадения стоков полигона АИ по критерию УКИЗВ являются устойчиво «грязными». Несмотря на то, что р. Нелукса подвержена влиянию стоков полигона ТБО, последствий серьёзного антропогенного воздействия на неё установлено не было, её воды на всем течении относятся к «слабо загрязнённым». Это указывает на то, что в настоящий момент основной сток загрязнённых вод поступает в р. Сельгскую. Статистически значимое различие в химическом составе воды между фоновым участком и станцией, расположенной ниже впадения стоков полигона ТБО, было выявлено только по нескольким химическим показателям: Na^+ , Cl^- , рН, HCO_3^- , CO_2 , NO_3^- , $Fe_{\text{общ.}}$, Mn^{2+} (Mann Whitney U-test; $p < 0,05$), которые предлагается использовать как компоненты-маркеры воздействия полигона ТБО (табл.).

В районе впадения сточных вод полигона АИ в р. Сельгская практически по всем выявленным компонентам-маркерам происходит их скачкообразный рост и затем постепенное уменьшение, а именно: по ионному составу, электропроводности, содержанию лабильных, трудноокисляемых и взвешенных веществ, аммоний, большинству тяжёлых металлов, фенолов и СПАВ. Постепенное уменьшение концентраций этих веществ отражает разбавление сточных вод в результате боковой приточности с водосборной территории. Содержание кислорода имеет обратный ход, что объясняется постепенным насыщением вод кислородом вниз по течению в результате их контакта с атмосферой.

Вместе с тем ход других показателей несколько отличается. Отмечается резкий скачок в точке впадения стоков и относительно однородные и экстремально высокие концентрации $P_{\text{мин.}}$ и $P_{\text{общ.}}$ в среднем и нижнем течении реки, при сохранении высокой доли фосфатов

(61–92%) в общем пуле фосфора. Похожим образом ведут себя и величины рН. Такое поведение этих показателей объясняется поступлением высокощелочных вод, обогащённых фосфором, с помётных полей птицефабрики. Вероятно, этим же объясняется и смещённый пик содержания Zn, имеющий максимум в районе поступления этих стоков. Второй резкий пик имеет содержание SO_4^{2-} на станции SL4, что, вероятно, является следствием загрязнения вод стоками с автомагистрали и железной дороги.

Содержание ОБ во всех реках было высоким, что связано с малой озёрностью и сильной заболоченностью их водосборных территорий. Высокощелочные фильтрационные воды полигона АИ, дренирующие заболоченную территорию, способствуют вымыванию гумусовых веществ из почвы и торфа и их усиленному поступлению в р. Сельгская. В этой связи на станции SL2 значения всех показателей содержания ОБ в течение всего периода наблюдений были выше, чем в дренажных водах полигона АИ (табл.).

За исследованный период содержание нефтепродуктов в воде всех участков рек изменялось от 0,04 до 0,44 мг/л, что указывает на их загрязнение. Даже на фоновых станциях были выявлены превышения ПДК, что очевидно связано с их поступлением с атмосферными осадками. Полигоны ТБО и АИ не оказывают существенного влияния на содержание нефтепродуктов в исследуемых реках.

Превышение ПДК по фенолам было выявлено на всех станциях. Наибольшее загрязнение по этому показателю установлено в р. Сельгская в районе впадения стоков полигона АИ, в среднем концентрация фенолов в этой точке достигала 0,056 мг/л, а зимой 2020 г. превышала ПДК в 110 раз. Содержание СПАВ во всех реках было ниже ПДК.

Из всех металлов выделялась Cu, её содержание изменялось в пределах 1,1–13,2 мкг/л, т. е. на всех участках рек было выявлено превышение ПДК. Надо отметить, что повышенные концентрации Cu, а также $Fe_{\text{общ.}}$ и фенолов отмечаются во многих водных объектах гумидной зоны, что указывает на региональную специфику вод [17]. Несмотря на повышенный природный фон по содержанию тяжёлых металлов и фенолов, загрязнённые участки реки Сельгская явно выделяются по этому показателю (табл.).

Расчёт, проведённый на основе водного баланса полигонов ТБО и АИ, а также данных о среднегодовых расходах рек Нелукса

Таблица / Table

Основные компоненты-маркеры влияния полигонов АИ и ТБО на качество воды и их распределение вдоль по течению исследованных рек (средние значения)
Chemical markers of Active Sludge and Waste Dump impact on water quality of rivers and their distribution along river's courses (mean values)

Показатель Index	Река, станция / River, station							
	Сельгская / Sel'gskaya					Нелукса / Neluksa		
	SL1	SL2	SL3	SL4	SL5	NL1	NL2	NL3
Cl ⁻ , мг/л / mg/L	1,4	246,6*	54,7	35,8	28,1	1,0	1,6	1,5
SO ₄ ²⁻ , мг/л / mg/L	2,0	10,5	6,6	12,2	7,2	2,2	2,5	3,1
Na ⁺ , мг/л / mg/L	1,1	187,1	41,8	28,4	20,3	1,2	2,0	2,4
K ⁺ , мг/л / mg/L	0,5	147,9	31,4	18,4	12,2	0,4	0,8	0,9
Ca ²⁺ , мг/л / mg/L	1,2	37,0	18,8	19,9	16,4	1,6	2,6	2,9
Mg ²⁺ , мг/л / mg/L	0,5	29,1	11,8	10,3	8,1	1,0	1,5	1,7
α, мксм/см / μS/cm	26	2373	639	404	278	30	33	37
pH	4,5	7,7	7,2	7,2	7,3	4,4	5,9	6,5
CO ₂ , мг/л / mg/L	13,6	50,0	37,1	13,7	12,0	14,5	8,0	4,9
HCO ₃ ⁻ , мг/л / mg/L	0,0	732,7	241,1	147,5	96,4	0,0	9,4	12,7
Взвешенные вещества, мг/л TSS, mg/L	3,7	31,6	35,8	7,6	6,8	3,3	3,9	5,1
Цветность, ° / Color, °	195	819	380	288	256	259	211	196
C _{орг.} , мг/л / TOC, mg/L	23,5	127,5	59,2	39,5	38,3	26,5	23,3	22,6
ПО, мгО/л / COD _{Mn} , mgO/L	29,7	132,4	67,7	44,7	42,6	33,0	29,1	27,5
XПК, мгО/л / COD _{Cr} , mgO/L	58,4	358,7	162,3	103,0	97,6	68,9	59,9	59,1
БПК ₅ мгО ₂ /л / BOD ₅ , mgO ₂ /L	0,95	21,1	6,1	7,0	2,8	1,0	1,1	0,9
O ₂ , мг/л / mg/L	8,1	2,3	5,8	7,5	8,3	7,7	9,9	10,4
P _{мин.} , мг/л / P _{min.} , mg/L	0,002	0,914	1,238	0,822	1,019	0,004	0,016	0,023
P _{общ.} , мг/л / P _{tot.} , mg/L	0,025	1,502	1,412	0,933	1,102	0,032	0,044	0,053
NH ₄ ⁺ , мгN/л / mgN/L	0,05	8,48	0,45	1,68	0,30	0,09	0,13	0,07
NO ₂ ⁻ , мгN/л / mgN/L	0,001	0,043	0,052	0,723	0,015	0,001	0,001	0,001
NO ₃ ⁻ , мгN/л / mgN/L	0,02	1,54	0,52	2,04	1,45	0,05	0,06	0,08
N _{орг.} , мгN/л / N _{org.} , mgN/L	0,5	14,6	9,7	7,8	5,6	0,6	0,3	0,4
N _{общ.} , мгN/л / N _{tot.} , mgN/L	0,5	16,8	10,7	12,2	7,1	0,7	0,5	0,6
Fe, мг/л / mg/L	0,49	1,65	4,50	2,17	1,43	0,63	0,77	0,83
Mn, мг/л / mg/L	0,03	0,77	0,48	0,17	0,12	0,03	0,04	0,04
Фенолы, мг/л / Fenol, mg/L	0,013	0,056	0,035	0,012	0,011	0,013	0,010	0,008
СПАВ, мг/л / Surfactants, mg/L	0,02	0,08	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Cr, мкг/л / μg/L	1,0	35,2	8,7	4,4	2,8	1,6	1,2	1,3
Co, мкг/л / μg/L	0,5	4,8	1,9	1,1	0,8	0,6	0,4	0,4
Ni, мкг/л / μg/L	1,62	14,64	5,37	3,69	3,18	1,76	1,25	1,46
Cu, мкг/л / μg/L	1,09	13,24	6,33	3,93	3,27	1,40	1,15	1,44
Zn, мкг/л / μg/L	5,68	15,46	32,92	5,18	20,05	4,22	4,12	4,26

Примечание: * – экстремально высокие значения относительно фоновых величин для рек и значения, превышающие ПДК, выделены жирным шрифтом.

Note: * – extremely high values comparing with background levels in rivers and values exceeding permissible concentrations are marked in bold font.

и Сельгская, показал, что полигон захоронения АИ вносит существенный вклад в вынос химических веществ с водами р. Сельгская в Онежское озеро. Так, на долю полигона АИ приходится около 20% всех выносимых рекой взвешенных веществ (8,5 т), 17% органических легкоокисляемых веществ (2,9 т O_2 по БПК₅), 14% NO_2^- (0,01 тN), 3,2% $N_{орг.}$ (1,1 тN) и 10% $N_{общ.}$ (4,5 тN). При этом весь NH_4^+ , выносимый рекой, по всей видимости, поступает с полигона (1,9 тN). На долю трудно окисляемых веществ по ХПК и ПО приходится только 2,5% (15,6 тO) и 2,0% (5,5 тO) соответственно. Доля полигона АИ в выносе Cu и Zn составляет 4,5% (0,9 кг) и 2,7% (3,0 кг) соответственно, минеральных веществ – 3,5% (42 т), из них Cl^- – 2,7% (4,5 т), а Na^+ – 2,5% (3,4 т). С фильтрационными водами полигона также поступает около 1,1% $P_{мин.}$ (74 кг) и 1,4% $P_{общ.}$ (100 кг). Наиболее значимый вклад в вынос химических веществ с водами р. Нелукса полигон ТБО вносит по NH_4^+ (50 кгN или 12%), $N_{общ.}$ (70 кгN или 2,0%), Cl^- (200 кг или 2,5%) и Na^+ (170 кг или 1,2%). По остальным исследованным компонентам химического состава воды вклад полигонов ТБО и АИ в их вынос с реками незначительный (менее 1%).

Заключение

Проведён анализ воздействия полигонов захоронения ТБО и АИ на химический состав воды малых водотоков. Выявлены основные компоненты-маркеры, влияющие на качество воды водотоков в результате воздействия стоков полигонов. Определены объёмы выноса химических веществ с фильтрационными водами полигонов и реками, определена доля выноса веществ, приходящихся на фильтрационные воды полигонов.

Воды р. Сельгская в настоящий момент относятся к классу грязных на всём своём течении ниже впадения стоков полигона захоронения АИ. Он вносит основной вклад в загрязнение вод органическими, минеральными веществами и азотом. Также существенный вклад полигон вносит в загрязнение воды реки фосфором. Усилению этого вида загрязнения способствует поверхностный сток с помётных полей птицефабрики. В меньшей степени в загрязнение вод реки вносят вклад объекты транспортной инфраструктуры, расположенные в нижнем течении. Загрязнение поверхностных вод нефтепродуктами в исследуемом районе носит распределённый характер: они поступают на водосборную территорию с ат-

мосферными осадками и выносятся в водные объекты с поверхностным стоком, в основном в весеннее половодье. Загрязнение р. Нелукса в результате воздействия фильтрационных вод полигона ТБО в настоящее время не значительное.

Статья подготовлена при финансовом обеспечении федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН). Полевые работы и аналитические исследования выполнены при поддержке гранта РФФ № 19-17-00035.

Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук».

References

1. Wastes in Russia: refuse or valuable resource? Scenarios for the development of the solid municipal waste management sector / Moscow: IFC, World Bank Group, 2013 [Internet resource] <http://biotech2030.ru/wp-content/uploads/2018/04/Othody-v-RF.pdf> (Accessed: 08.04.2021) (in Russian).
2. Povorov A.A., Pavlova V.F., Shinenkova N.A. Drainage water treatment of the landfill site // Santechnika. 2019. No. 3. P. 42–47 (in Russian).
3. Kazakova L.G. Reclamation of the unauthorized landfill territory of urban zone // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrialnogo universiteta. 2018. No. 2 (24). P. 30–34 (in Russian).
4. Chusov A.N., Maslikov V.I., Molodtsov D.V. Researches of Biogas Composition on Landfill // Bezopasnost v tekhnosfere. 2013. V. 2. No. 6. P. 24–28 (in Russian). doi: 10.12737/2158
5. ROSSTAT, 2019a. Federal State Statistics Service. Population of the Russian Federation in municipal districts for January 1, 2019 [Internet resource] https://gks.ru/storage/mediabank/mun_obr2019.rar (Accessed: 08.04.2021) (in Russian).
6. ROSSTAT, 2019b. Federal State Statistics Service. Parameters of municipal district 2019 [Internet resource] https://www.gks.ru/free_doc/new_site/bd_munst/munst.htm (Accessed: 08.04.2021) (in Russian).
7. GKU RK “Karelpriroda”. In Karelia the study of morphological composition and amount of solid municipal waste continues [Internet resource] <https://gov.karelia.ru/news/01-02-2021-v-karelii-prodolzhaetsya-rabota-po-izucheniyu-morfologicheskogo-sostava-i-kolichestva-tverdykh-kommu/> (Accessed: 08.04.2021) (in Russian).
8. Lakes of Karelia. Reference book / Eds. N.N. Filatov, V.I. Kukharev. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS, 2013. 464 p. (in Russian).

9. Satellite data Landsat, Google Earth pro, 2020 [Internet resource] <https://www.google.ru/maps/@61.698662,34.4519404,1438m/data=!3m1!1e3> (Accessed: 08.04.2021).

10. Kulikova T.P. Zooplankton in water-bodies of the Lake Onego catchment. Petrozavodsk: Karelian Research Centre, Russian Academy of Science, 2007. 223 p. (in Russian).

11. Water bodies of Petrozavodsk city: Uchebnoe posobie / Eds. A.V. Litvinenko, T.I. Regerand. Petrozavodsk: Karelian Research Centre, Russian Academy of Science, 2013. 109 p. (in Russian).

12. Quality standards for fishery water bodies, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of fishery water bodies (Utv. Prikazom Minselkhoza Rossii ot 13.12.2016. No. 552) (in Russian).

13. STP VNIIG 210.01.NT-05. Method of calculation of hydrology characteristics of mancaused loaded territories. Sankt-Peterburg: OAO VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 2005. 100 p. (in Russian).

14. Vaisman Y., Chudinov S., Kravchenko D. Management of the water balance of shw landfill waste on the example of the landfill in the city Krasnokamsk // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2012. No. 1. P. 43–57 (in Russian).

15. Sabylina A.V. Chemical composition of tributaries water // The largest lakes-reservoirs of the north-west European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact. Petrozavodsk: Karelian Research Centre, Russian Academy of Science, 2015. P. 61–67 (in Russian).

16. Ryzhakov A.V., Zobkova M.V., Lozovik P.A. Patterns in the concentration and distribution of phosphorus forms in water bodies of the humid zone // Trudy KarNTS RAN. 2016. No. 9. P. 33–45 (in Russian). doi: 10.17076/lim304

17. Lozovik P.A., Shkiperova O.F., Zobkov M.B., Platonov F.V. Geochemical properties of Karelian surface water and their classification by chemical parameters // Trudy KarNTS RAN. 2006. No. 9. P. 130–143 (in Russian).