УДК 574.5; 628.38
DOI 10.29003/m4691.0514-7468.2020_47_2/230-241
EDN FCLETW

ВЫДЕЛЕНИЕ БАССЕЙНОВ КАНАЛИЗОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РАСЧЁТА ПОТОКОВ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАМКАХ РЕЧНОГО БАССЕЙНА (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ МОСКВА)

М.Е. Астраханов*

Сооружения очистки сточных вод являются центрами перераспределения потоков биогенных элементов, т. к. на выходе из сооружений формируются три потока веществ (жидкий, твёрдый и газообразный), в которых долевое содержание биогенных элементов зависит от технологии очистки сточных вод. Принципы циркулярной экономики требуют учёта этих потоков для формирования стратегии по использованию биогенных элементов для нужд возрастающего городского населения. Выделение бассейнов канализования в рамках речного бассейна является инструментом для расчёта этих потоков. В рамках каждого бассейна канализования определяется максимально возможное количество биогенных элементов (углерода, азота, фосфора), которые перенаправляются очистными сооружениями в местный водоприёмник, в атмосферу и в осадок сточных вод. Автором предложено использовать метод ГИС для выделения внутри бассейна реки бассейнов канализования. Обозначенный подход позволяет рассчитать максимальные потоки по биогенным элементам исходя из количества жителей в каждом бассейне канализования, что даёт представление об экологической нагрузке как на отдельный бассейн, так и на всю территорию бассейна реки в целом. Приведены методика выделения бассейнов канализования внутри бассейна реки Москва, расчёт количества жителей в их границах, а также суточная нагрузка по двум показателям – общему азоту и фосфору фосфатов. С помощью геоинформационного обеспечения создана карта бассейнов канализования, выявлены наиболее и наименее обеспеченные очистными сооружениями участки бассейна реки Москва.

Ключевые слова: *очистные сооружения, биогеохимические потоки, очистка сточных вод, нагрузка на водоприёмники.*

Ссылка для цитирования: *Астраханов М.Е.* Выделение бассейнов канализования как инструмент расчёта потоков биогенных элементов в рамках речного бассейна (на примере реки Москва) // Жизнь Земли. 2025. Т. 47, № 2. С. 230–241. DOI: 10.29003/m4691.0514-7468.2020_47_2/230-241.

Поступила 20.02.2025 / Принята к публикации 28.05.2025

IDENTIFICATION OF SEWERAGE BASINS AS A TOOL FOR CALCULATING BIOGENIC ELEMENT FLOWS WITHIN A RIVER BASIN (USING THE EXAMPLE OF THE MOSCOW RIVER)

M.E. Astrakhanov

Lomonosov Moscow State University

Wastewater treatment plants (WWTPs) serve as hubs for the redistribution of biogenic element flows, since they generate three output streams (liquid, solid and gaseous), where the proportional content of biogenic elements depends on the wastewater treatment technology. The circular economy principles require accounting for these flows to develop a

* Астраханов Максим Евгеньевич – аспирант факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, *79197743019@yandex.ru*, ORCID: 0000-0003-0474-1554.

strategy for utilizing biogenic elements to meet the needs of the growing urban population. Identifying sewerage basins within a river basin serves as a tool for calculating these flows. The maximum possible amount of biogenic elements (carbon, nitrogen, phosphorus) redirected by treatment plants to local water bodies, to the atmosphere, and to sewage sludge is estimated for each sewerage basin. Such calculations enable an assessment of the maximum biogenic load downstream of the treatment plant discharge point (in the event of a plant shutdown) and the design of potential technological chains for utilizing sewage sludge. The author proposes to use a GIS-based method to identify sewerage basins within a river basin. This approach allows for the calculation of maximum biogenic element flows based on the population within each sewerage basin, providing insights into the environmental load on each individual basin and the entire river basin as a whole. Additionally, this method identifies zones with the highest load on watercourses within the river basin and assesses the risks of watercourse pollution due to urban development and the emergence of new residential areas. The article presents a methodology for identifying sewerage basins within the Moscow River basin, calculating the population within their boundaries, and estimating the daily load of two indicators, namely: total nitrogen and phosphate phosphorus. Using geoinformation tools, a map of sewerage basins was plotted, identifying areas within the Moscow River basin with the highest and lowest coverage of wastewater treatment plants.

Keywords: *sewage treatment plants, biogeochemical flows, wastewater treatment, load on water intakes.*

For citation: Astrakhanov, M.E., "Identification of sewerage basins as a tool for calculating biogenic element flows within a river basin (using the example of the Moscow river)", *Zhizn Zemli* [Life of the Earth] **47**, no 2, 230–241 (2025) (in Russ., abstr. in Engl.). DOI: 10.29003/m4691.0514-7468.2020_47_2/230-241.

Введение. Потоки биогенных элементов (БЭ) в биосфере, в первую очередь углерода, азота и фосфора, всегда были важнейшей частью исследований биосферных процессов, а в настоящее время их количественный учёт становится важной частью формирования экономических и социальных стратегий при переходе развитых стран на принципы циркулярной экономики.

Азот является основополагающим элементом во всех формах жизни и важнейшим компонентом сельскохозяйственной производительности и глобальной продовольственной безопасности [6]. Однако избыток азота, вызванный антропогенной деятельностью, представляет серьёзную угрозу для окружающей среды и здоровья человека [12]. Скорость извлечения азота и других БЭ из сектора отходов относительно низка, и большая часть азота поступает в атмосферу за счёт процесса денитрификации на очистных сооружениях сточных вод [11].

Потоки от очистных систем коммунально-бытовых стоков и предприятий переработки твёрдых бытовых отходов (ТБО) становятся важными объектами исследования по той причине, что они являются аналогами естественных потоков возвращения БЭ в экосистемы, а сами отходы коммунально-бытовых очистных сооружений становятся механизмом формирования азотфиксирующих экосистем [17].

В то же время очистные сооружения (ОС) сточных вод (СВ) и предприятия по сбору и переработке ТБО становятся важнейшими точками перераспределения потоков БЭ. Каждое очистное сооружение имеет на входе один поток БЭ, входящих в состав СВ. На выходе же из ОС этот поток разделяется на три: жидкий (очищенные СВ), твёрдый (осадок СВ) и газообразный (отводимые в процессе очистки газы – в преобладающей массе углекислый газ, метан, азот и его оксиды). Использованию для возвращения в экосистемы (природные и сельскохозяйственные) подлежат только два потока: жидкий и твёрдый [7, 9]. При этом фосфор присутствует только в этих двух потоках (от поступления со сточной водой), тогда как углерод и азот присутствуют во всех трёх потоках.

При этом в настоящее время известны десятки технологических решений, которые по-разному формируют выходящие потоки БЭ и могут снижать до минимума газообразные выбросы углерода и азота, т. е. оставлять эти элементы в функциональных биосферных циклах, включая циркуляцию в агропромышленном производстве, ландшафтном строительстве и биоэнергетике [12, 14]. Что касается сооружений с активным илом, то, учитывая сказанное выше, осадок СВ перестаёт быть отходом, становясь важным ресурсом БЭ [5, 13, 15].

Перераспределению, дальнейшей утилизации или использованию отходов очистки СВ уделяется всё больше внимания, в т. ч. с точки зрения энергетической и ресурсной эффективности [1, 3], что находит отражение, например, в директивах или рекомендациях ЕС по обращению с отходами [4] либо в отраслевых справочниках по наилучшим доступным технологиям для промышленности в России[1].

Поскольку технологии биологической очистки стоков основаны на природных законах, то и сам подход к оценке потоков БЭ должен базироваться на закономерностях, которые известны для естественных экосистем. В природных наземных экосистемах территориальной единицей для расчёта потоков БЭ и потоков энергии через трофические цепи является биогеоценоз. В связи с тем, что природные биогеоценозы вытесняются природно-техногенными, техногенными, городскими и сельскохозяйственными биогеоценозами, необходимо выделить единичную территориальную единицу, которая будет характеризовать однотипное преобразование биомассы в этих полностью искусственных или частично искусственных биогеоценозах. Автором настоящей статьи предложено использовать бассейн канализования (БК) в качестве такой единицы. БК – система сбора стока с территории, как правило ограниченной водоразделом, транспортирующая СВ в общие для абонентов ОС [2, 8]. БК, в свою очередь, является составным элементом водосборного бассейна, в данном случае – синоним бассейна реки.

Подход автора статьи состоит в том, чтобы понимать БК не только как систему канализования, а как всю территорию вместе с наземной экосистемой в соответствующих границах. Также для общего представления необходимо уточнить отличие БК от бассейна водотока, т. е. бассейна реки второго порядка в системе бассейна Москвы-реки, о которых речь в настоящей статье не идёт. При этом, так же, как и в случае с бассейнами малых рек, входящих в общий бассейн реки Москва, БК в своей совокупности являются частью водосборного бассейна.

Цель настоящей работы – разработка методологии расчёта антропогенных потоков БЭ (на примере азота и фосфора), которые формируются в регионах с разной плотностью населения и с разными природными и градостроительными характеристиками ландшафтов. Были поставлены следующие задачи исследования: выделить внутри водосборного бассейна р. Москва бассейны канализования; количественно рассчитать нагрузку по БЭ на территории каждого выделенного БК, исходя из количества жителей на его территории.

Объекты и методы. В настоящем исследовании есть два типа *объектов*: 1) природный объект – бассейн реки Москва, разделённый на входящие в него БК; 2) очистные сооружения, расположенные на территории бассейна реки Москва, сбрасывающие СВ в реку или её притоки (именно очистные сооружения являются центрами соответствующих им БК). Оценку нагрузки на бассейн выполнили для двух загрязняющих

[1] Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2019 «Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов» (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2019 г. N 2981).

веществ – общего азота и фосфора фосфатов. Оба элемента являются биогенными, отражают экологическое состояние реки и являются индикативными как для природных объектов, так и при оценке эффективности работы ОС (соответственно контролируются на входе и выходе в/из ОС; моделируется их удаление и цикл при проектировании станции очистки).

Выделение бассейна реки Москва. С помощью программного обеспечения QGIS была создана карта бассейна р. Москва по высотам (водоразделам). Далее нанесены её основные притоки первого порядка, т. е. добавлена гидросеть. На эту карту нанесены известные ОС, находящиеся в бассейне. Точки, обозначающие ОС, поставлены в местах сброса сточных вод в водный объект – непосредственно в р. Москва либо в её притоки разного порядка. Все обозначенные сооружения и их точки сброса были подтверждены из открытых источников (интернет-сайта «МосВодоканал»[2] [20], региональных коммунальных организаций и т. п.). При этом ОС хорошо видны со спутника, имея характерные визуальные признаки, например, правильной формы резервуары аэротенков и отстойников. Некоторые ОС были добавлены на карту с помощью открытого интерактивного источника OpenStreetMap[3], который, несмотря на удобный формат, требует тщательной проверки, поскольку зачастую даёт информацию о юридических адресах водоканалов, закрытых или недействующих станциях, офисах продажи оборудования для септиков и т. д. вместо искомых реальных станций очистки. Таким образом, точки были проверены с помощью программы Google Earth в режиме спутника. Всего с использованием спутниковой карты были добавлены 69 подтверждённых точек ОС в бассейне реки.

Выделение БК внутри бассейна реки Москва. После нанесения границ бассейна реки Москва на карту выделены БК в её водосборном бассейне. Для анализа была использована сторонняя библиотека для QGIS – SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) в части моделирования стоков и построения водосборных бассейнов. В качестве основы для анализа была использована srtm цифровая модель рельефа (dem) с разрешением пикселя в 60 м. С помощью SAGA channel network была построена сеть водотоков, соответствующих понижениям в рельефе. Затем с помощью инструмента «upslope area» были построены бассейны от выбранного речного створа, который соответствовал местоположению ОС.

В результате были получены границы водосборных бассейнов с пересечениями для точек ниже по течению в качестве финальной обработки; вся геометрия бассейнов была вырезана и отделена в самостоятельные замкнутые контуры, имеющие общую границу и формирующие в своей совокупности бассейн р. Москва (**рис. 1**).

Расчёт численности населения внутри БК выполняли двумя методами (**рис. 2**).

1) Точечно суммировали количество жителей от населённых пунктов, попавших в границы БК. При подготовке набора использовались данные Росстата, которые затем были уточнены на основе сведений из региональных медицинских информационно-аналитических центров (МИАЦ). Эти данные представлены за 2022 г. и привязаны к конкретному населённому пункту.

2) Данные по населению взяты из открытого растрового источника[4] за 2020 г. и также разделены соответственно границам БК. Источник полагается на косвенные признаки (модель распределения застройки, спутниковые снимки и различные модели размещения населения), т. е. делит численность Росстата по муниципальным единицам в пространстве.

[2] Официальный сайт АО «МосВодоканал» (https://www.mosvodokanal.ru).
[3] https://www.openstreetmap.org
[4] https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=49725

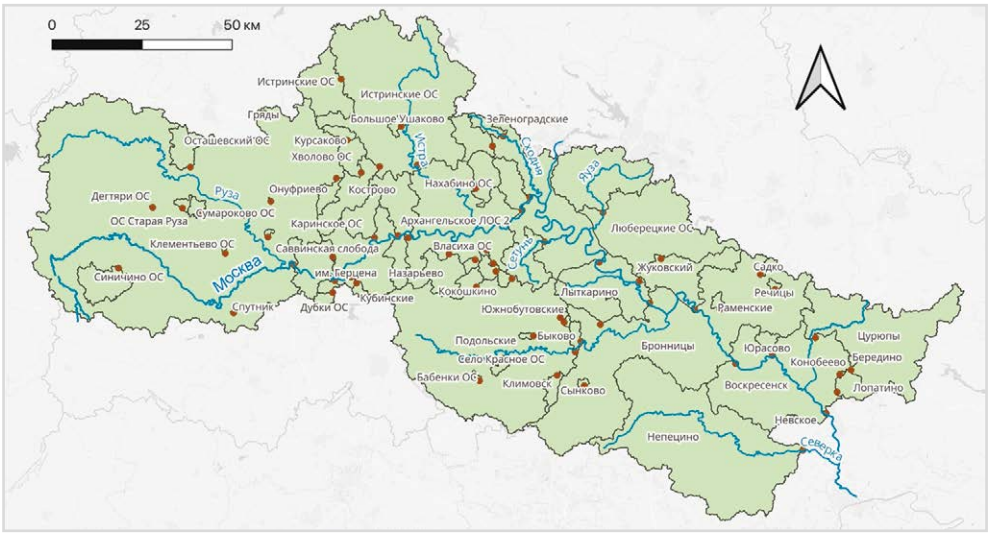

Рис. 1. Созданная в QGIS карта найденных и подтверждённых очистных сооружений бассейна реки Москва и границы соответствующих им бассейнов канализования. Точки – места сброса найденных станций очистки сточных вод.

Примечание: в случае необнаружения официального наименования очистных сооружений названия даны соответственно ближайшему населённому пункту. Водотоки низкого порядка, в которые происходит сброс стоков, не обозначены.

Fig. 1. A map of found and confirmed sewage treatment facilities in the Moscow River basin and the boundaries of the corresponding sewerage basins created in QGIS. The dots are the discharge points of the wastewater treatment plants found.

Note: if the official name of the sewage treatment facility was not found, the names are given according to the nearest settlement. No low-order watercourses which wastewater is discharged into are indicated.

Расчёт предполагаемой нагрузки БЭ на БК проводили исходя из количества жителей, посчитанных по вышеуказанным методам. После умножали число человек на норматив выделения загрязняющих веществ по СП 129.13330.2019[5]. В документе содержится информация об образовании загрязняющих веществ от одного человека в сутки. По общему азоту этот показатель составляет 8 г/сут, по фосфору фосфатов – 3,3 г/сут. Таким образом получили значения по БК для азота общего (**рис. 3**) и фосфора фосфатов (**рис. 4**) по двум моделям подсчёта населения внутри БК. С помощью программы QGIS также получили некоторую описательную статистику по объектам (**табл. 1**).

Результаты. Полученные границы БК вместе с ОС внутри бассейна Москвы-реки представлены на рис. 1. Точками обозначены места сброса стока в реку; всего их найдено 69.

Население, рассчитанное двумя методами (см. табл. 1), отличается: по растровому методу 2020 г. на территории бассейна суммарно проживает 16 502 300 чел.; по методу, привязанному к точечному источнику за 2022 г. – всего лишь 13 732 900 чел. на весь бассейн. Наибольшее количество человек в БК отмечено для бассейна Курьяновских ОС – 4 488 230 и 4 413 480 чел. соответственно. Плотность населения для них также наиболее высокая, превышает отметку 8 тыс. чел. на 1 км^2 по обоим методам расчёта.

[5] Свод правил. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. Актуализированная редакция СНиП 3.05.04-85 (утв. и введён в действие Приказом Минстроя России от 31.12.2019 N 925/пр).

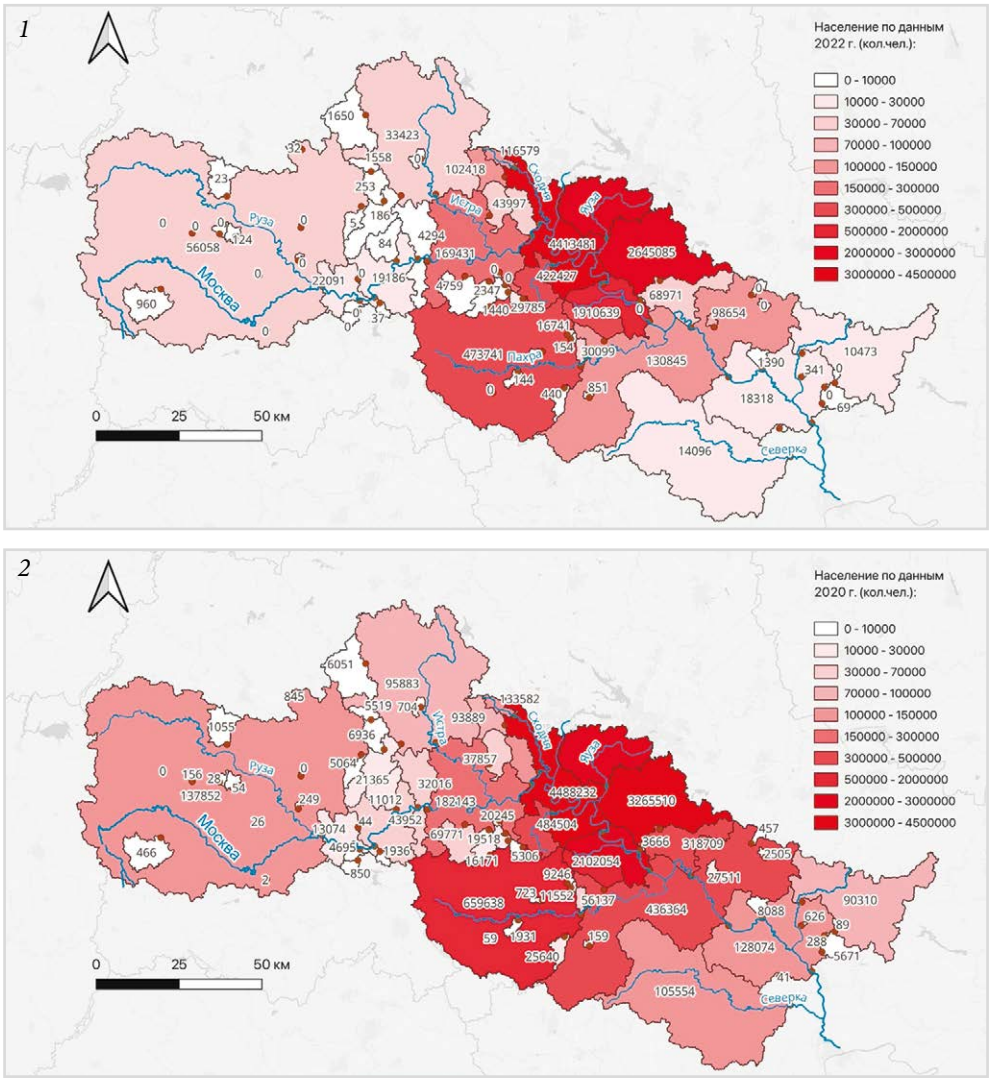

Рис. 2. Расчёт населения в пределах бассейнов канализования двумя методами: 1) точечным суммированием жителей населённых пунктов за 2022 г.; 2) растровым разделением населения по бассейнам канализования согласно источнику[6] за 2020 г.

Fig. 2. Calculation of the population within the sewerage basins using two methods: 1) point summation of the residents of the settlements for 2022; 2) raster division of the population by sewerage basins for 2020.

Интегральная (суммарная) нагрузка по общему азоту для бассейна реки составила 132 019 и 109 863 кг/сут соответственно, максимум для азота общего – 35 906 и 35 308 кг/сут (см. рис. 3, табл. 1).

Для фосфора фосфатов интегральная нагрузка на весь бассейн составила 54 458 и 45 319 кг/сут также по двум методам расчёта (см. табл. 1), а максимум – близкие 14 811 (2020 г.) и 14 565 кг/сут (2022 г.). Как и в случае с количеством населения и нагрузкой по

[6] https://hub.worldpop.org/geodata/summary?id=49725

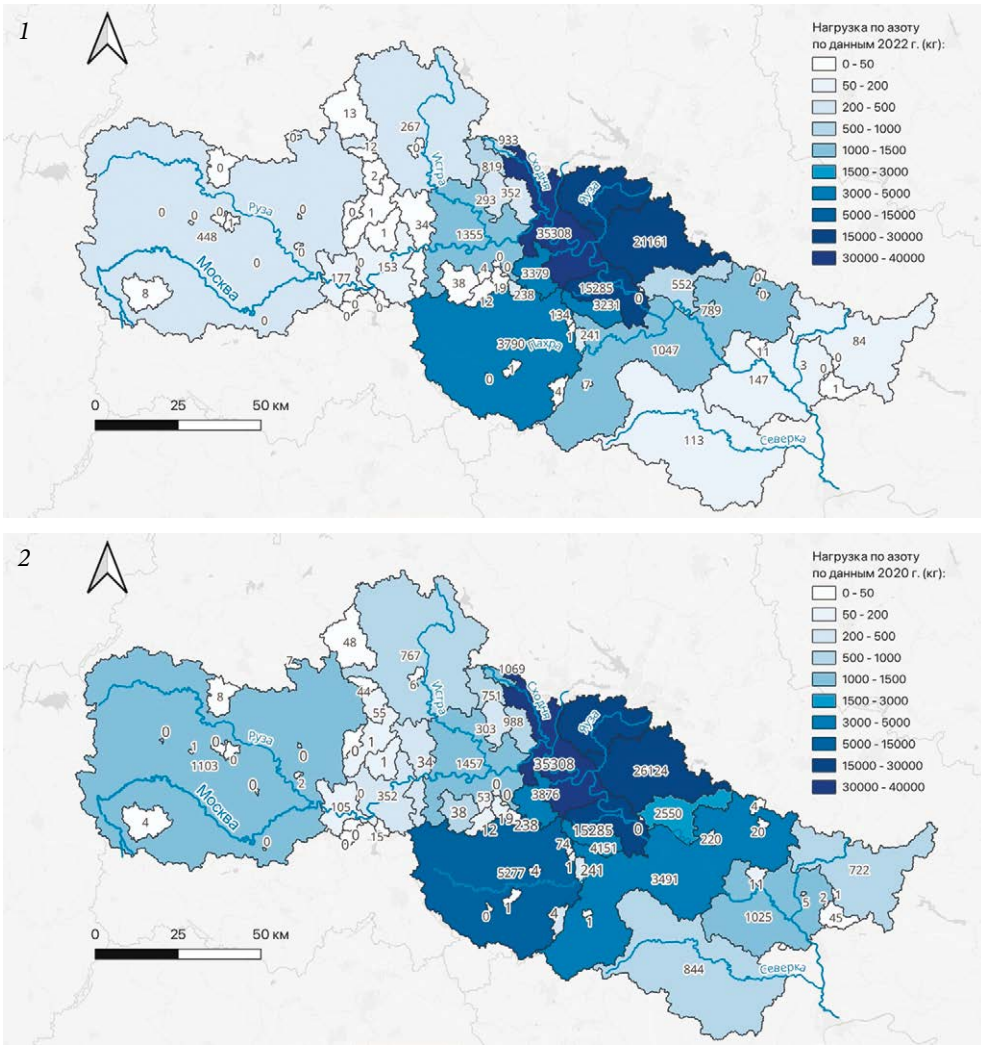

Рис. 3. Расчёт количества выделяемого азота (кг/сут) в пределах бассейнов канализования двумя методами: 1) точечным по населённым пунктам внутри бассейна канализования (2022); 2) растровым по бассейнам канализования (2020). Использован переводной коэффициент по СП 129.13330.2019 [18] для азота (кол. чел. × 8 кг/сут).

Fig. 3. Calculation of the amount of nitrogen emitted (kg/day) within the sewerage basins using two methods: 1) the point method by settlements within the sewerage basin (2022); 2) the raster methods by sewerage basins (2020). The conversion factor according to SP 129.13330.2019 [18] for nitrogen (number of people × 8 kg/day) was used.

азоту, данный максимум предсказуемо приурочен к центральной части бассейна реки (большая часть г. Москва) – БК Курьяновских очистных сооружений, крупнейших по своей мощности в Европе (см. рис. 4) [10, 20].

Обсуждение результатов. Необходимо отметить, что описанный выше метод выделения БК хорошо применим для небольших поселений, где ОС является самой низкой геодезической точкой рельефа. При проектировании и строительстве ОС соз-

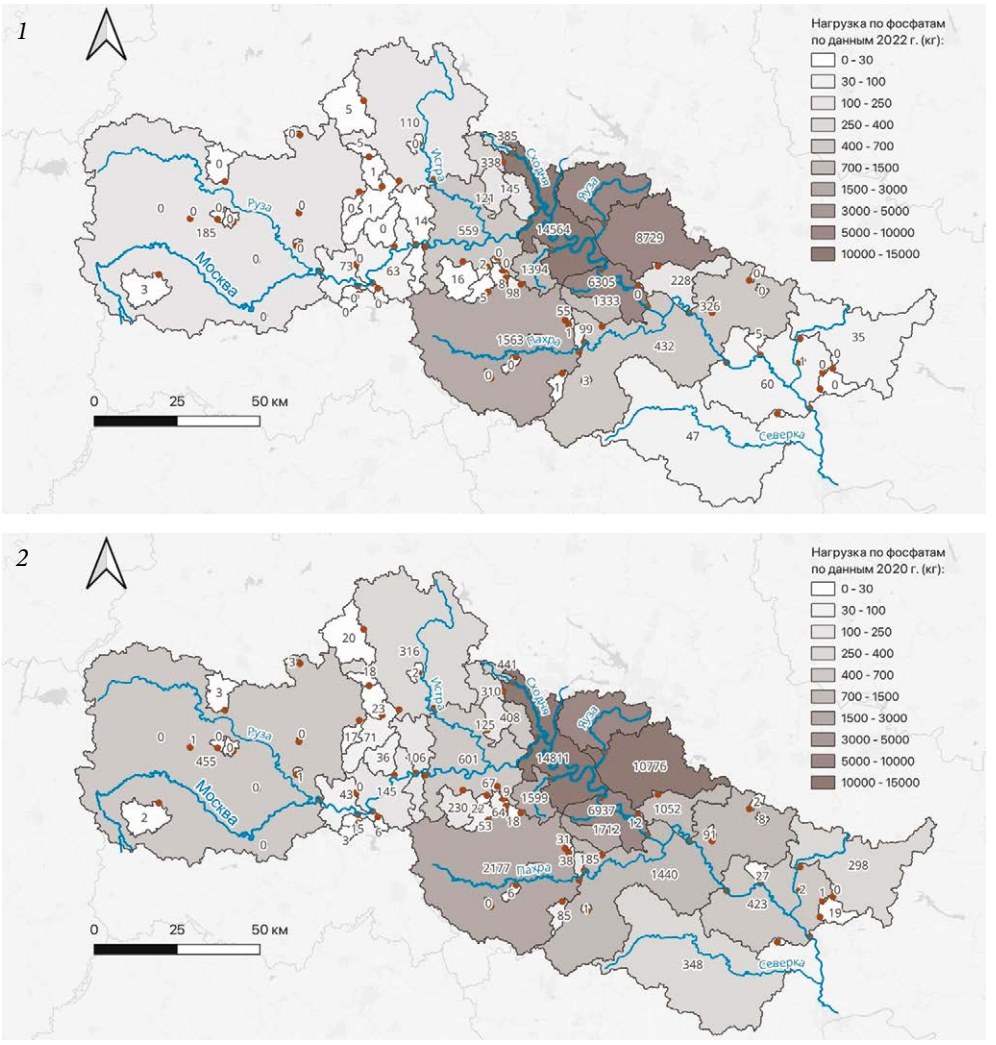

Рис. 4. Расчёт количества выделяемого фосфора фосфатов (кг/сут) в пределах бассейнов канализования двумя способами: 1) точечным по населённым пунктам внутри бассейна канализования (2022); 2) растровым по бассейнам канализования (2020). Использован переводной коэффициент по СП 129.13330.2019 [18] для фосфора фосфатов (кол. чел. × 3,3 кг/сут).

Fig. 4. Calculation of the amount of phosphate phosphorus emitted (kg/day) within the sewerage basins using two methods: 1) the point method by settlements within the sewerage basin (2022); 2) the raster method by sewerage basins (2020). The conversion factor according to SP 129.13330.2019 [18] for phosphate phosphorus (number of people × 3.3 kg/day) was used.

даётся передвижение сточной воды самотёком по трубам от абонента в ОС как энергоэффективное. В пределах крупных городов, таких как Москва, этот принцип может быть нарушен. В процессе развития и укрупнения города к централизованным ОС могут подключаться расположенные ниже их по течению или рельефу районы. На карте распределение точек ОС не кажется вполне равномерным. В западной части бассейна не удалось обнаружить большое количество ОС. Безусловно, связано это и с распре-

Таблица 1. Общая статистика основных показателей по 69 бассейнам канализования (QGIS) по двум методам (2020 и 2022 гг.)

Table 1. General statistics of the main indicators for 69 sewerage basins (QGIS) using two methods (2020 and 2022)

	Население 2020	Население 2022	Азот 2020	Азот 2022	Фосфаты 2020	Фосфаты 2022
Размерность	чел.		кг/сут			
Всего*	16 502 300	13 732 900	132 019	109 863	54 458	45 319
Максимум	4 488 230	4 413 480	35 906	35 308	14 811	14 565
Минимум	н/д**	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Среднее	239 164	199 028	1913,3	1592,2	789,2	656,8
Медиана	6936	542	55,5	4,3	22,9	1,8

** Суммарно на весь бассейн реки Москва.*

*** Нет данных – по применяемому методу расчёта значение равно 0.*

делением населения: в восточной части бассейна его значительно больше, и поскольку река течёт с запада на восток, накапливая интегральную нагрузку по загрязнению, то и ОС ниже города больше, и они производительнее. Некоторые выделенные БК западной части бассейна имеют достаточно скромную площадь, здесь проявляется недостаток метода – данные точки попали в понижение рельефа и поэтому показаны как небольшие анклавы. Впрочем, поскольку есть информация об их малой мощности, площадь сети канализования у них соответственно малая, поэтому в целом их БК могут быть сравнимы с действительными. Стоит отметить, что при добавлении новых точек ОС и БК к ним общие показатели для всего бассейна (нагрузка по загрязняющим веществам, количество населения) при этом не изменятся.

Говоря о результатах и карте для населения, получилось сравнимое количество человек для всего бассейна реки, однако по отдельным БК оценки могут сильно отличаться (см. рис. 2, табл. 1). Растровый источник (2020 г.), во-первых, старее, во-вторых, полагается на косвенные признаки в оценке (модель распределения застройки, спутниковые снимки и различные модели размещения населения). Таким образом, делит численность Росстата по муниципальным единицам в пространстве. Он хорошо показывает распределение населения по территории, однако в количественной оценке не кажется точным инструментом.

С другой стороны, точечный источник (2022 г.) – это данные Росстата, привязанные к конкретному населённому пункту. Недостаток их состоит в том, что они практически не учитывают индивидуальную жилищную застройку (дачи, коттеджи и прочий частный сектор) и её конфигурацию, а также сезонные колебания для населения. Зато несомненным плюсом метода является прямой подсчёт населения, проводящийся в России с уточнением по МИАЦ.

Полученные данные по нагрузке для общего азота и фосфора фосфатов напрямую определены количеством и плотностью населения в соответствующих БК. Видно, что центральная часть бассейна реки, где расположен город, а также восточная часть нагружены сильнее западной.

Заключение. В настоящей работе предложен метод выделения бассейнов канализования как единиц для расчёта биогенной нагрузки на бассейн реки-водоприёмника, в данном случае – реки Москва. Кроме того, двумя методами рассчитано население в

пределах БК, количественно оценена экологическая нагрузка на них и на бассейн реки в целом. Метод расчёта населения по данным 2020 г., по мнению автора статьи, более соответствует действительности, поскольку дал большее количество человек на исследуемой территории. В контексте расчёта экологической нагрузки небольшая переоценка не станет проблемой. При этом метод учитывает индивидуальный жилой сектор, что важно при рассмотрении сельских поселений. Метод, опирающийся на данные 2022 г., удобен в точном прямом подсчёте населения, относящемся к данным справочников МИАЦ, однако недостатком его является неучёт сезонной динамики населения.

На данный момент точки ОС несут в себе лишь информацию о своём местонахождении (координаты). При этом для некоторых станций очистки известны их мощностные характеристики, технологические схемы, даже примерная эффективность очистки стоков. Такие данные представляют широкие возможности для оценки обеспеченности районов ОС, о том, насколько и куда возможно в случае аварий, например, перенаправить стоки. К сожалению, на данный момент для всей Московской области (и, в частности, для бассейна реки Москва) отсутствует единый реестр очистных сооружений, какой, например, есть для Москвы[7], что делает на первый взгляд достаточно тривиальную задачу нанесения всех действующих ОС на карту бассейна реки Москва трудновыполнимой. Тем не менее, необходимость создания такой единой базы данных существует. Настоящая работа – первый шаг в этом направлении.

Полученные результаты отражают реальную суточную нагрузку от двух загрязнителей на исследованную территорию. Наибольшая нагрузка пришлась на центральную часть бассейна – г. Москва (БК Курьяновских и Люберецких ОС). Наименьшее загрязнение наблюдается в западной части бассейна. Предложенный подход выделения БК применим для схожих объектов – бассейнов рек Центральной части (и не только) России, испытывающих разнообразную антропогенную нагрузку и имеющих неравномерное распределение населения в границах своей территории (например, бассейн морфологически схожих объектов – рек Ока и Клязьма). Создание интерактивных карт с выделением ОС и привязанных к ним БК поможет определить территории с недостаточным обеспечением ОС, выявить точки соответствующего экологического риска; использование нормативных документов рекомендовано при этом для расчёта предполагаемой нагрузки от искомых загрязняющих веществ.

Объекты проведённого исследования – очистные сооружения и биогенные элементы в составе сточных вод – в данный момент интерпретируют в литературе как источники негативного воздействия на природу. Однако рациональным подходом сегодня и в будущем станет понимание содержащихся в сточных водах биогенов как ресурса, а станций очистки стоков – как центров перераспределения потоков этих элементов для нужд населения с учётом пользы окружающей среде.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю – д.б.н., в.н.с. кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ им. Ломоносова Щегольковой Наталии Михайловне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Астраханов М.Е., Бурвикова Ю.Н., Новиков В.А.* Технологическое нормирование сбросов сточных вод на основе показателей НДТ // Компетентность. 2023. № 4. С. 34–39.

2. *Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Обломкова Н.С., Оглуздин А.С., Субботин И.А.* Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // АгроЭкоИнженерия. 2016. № 89. С. 175–182.

[7] https://www.mosvodokanal.ru

3. *Веницианов Е.В., Звезденкова Г.А.* Эколого-экономические и организационно-правовые проблемы перехода к системе регулирования качества вод на основе наилучших доступных технологий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 3. С. 120–130.

4. *Гревцов О.В., Астраханов М.Е., Эпов А.Н.* Применение европейских подходов к определению технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2021. № 4. С. 105–116.

5. *Зайнуллин Р.Р., Галяутдинов А.А.* Производство удобрений из осадков сточных вод // Инновационная наука. 2016. № 6. С. 74–75.

6. *Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М.* Биология почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 445 с., илл. ISBN 5-211-04983-7.

7. *Камышникова Е.* Обзор методов очистки сточных вод для их применения в орошении сельскохозяйственных культур // Строительство и техногенная безопасность. 2015. № 1 (53). С. 100–113.

8. *Кондратьев С.А.* Формирование внешней нагрузки на водоёмы: проблемы моделирования. СПб: Наука, 2007. 253 с.

9. *Маненко А.К., Ткаченко Г.М., Касиян О.П., Юрченко С.Т.* Гигиеническое обоснование возможности использования ила из сооружений по очистке сточных вод в качестве органического удобрения // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 3. С. 259–264.

10. *Пахненко Е.П., Гунина Е.А., Николаев Ю.А., Грачёв В.А.* Критерии безопасного использования осадков сточных вод на примере новой и традиционной технологий их переработки // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2012. № 4. С. 36–41.

11. *Савинова А.А., Фалынскова Н.П.* Биогенные элементы в окружающей среде и в живых организмах // Инновационная наука. 2021. № 5. С. 25–28.

12. *Савостикова О.Н., Мамонов Р.А., Тюрина И.А., Алексеева А.В., Николаева Н.И.* Ксенобиотики и продукты их трансформации в сточных водах (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 11. С. 1218–1223.

13. *Храменков С.В., Козлов М.Н., Щеголькова Н.М., Ванюшина А.Я., Агарёв А.М., Грачёв В.А.* Использование почвогрунтов с внесением осадков сооружений очистки сточных вод и водоподготовки для выращивания технических культур // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 10. С. 72–77.

14. *Храменков С.В., Козлов М.Н., Щеголькова Н.М., Дорофеев А.Г.* Ресурс особого назначения. Использование потенциала очищенной воды городов для производства биотоплива // Вода Magazine. 2011. № 1. С. 18–22.

15. *Щеголькова Н.М.* Почвенная утилизация осадков биологических водоочистных сооружений: шаг за шагом // Экология производства. 2018. № 1. С. 68–73.

16. *Щеголькова Н.М., Мойжес О.В., Шашкина П.С.* Фотобиореактор для очистки сточной воды от биогенных элементов и обеззараживания // Вода: химия и экология. 2010. № 2. С. 9–16.

17. *Щеголькова Н.М., Рыбка К.Ю., Козлова М.А., Харитонов С.Л.* Анализ состава коммунальных сточных вод для прогноза состояния городской популяции // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 2. С. 218–231.

REFERENCES

1. Astrakhanov, M.E., Burvikova, Yu.N., Novikov, V.A., “Technological rationing of wastewater discharges based on BAT indicators”, *Kompetentnost’* [Competence] **4**, 34–39 (2023) (in Russian).

2. Bryukhanov, A.IU., Kondratiev, S.A., Oblomkova, N.S., Ogluzdin, A.S., Subbotin, I.A., “Methodology for determining the biogenic load of agricultural production on water bodies”, *AgroEkoInzheneriya* [Agro-ecoengineering] **89**, 175–182 (2016) (in Russian).

3. Venitsianov, E.V., Zvezdenkova, G.A., "Ecological, economic, organizational and legal problems of transition to a system of water quality regulation based on the best available techniques", *Vodnoe hoziajstvo Rossii: problemi, tehnologii.upravlenie* [Water sector of Russia. Problems, technologies, management] **3**, 120–130 (2014) (in Russian).

4. Grevtsov, O.V., Astrakhanov, M.E., Epov, A.N., "Application of European approaches to the determination of technological indicators of the best available techniques in the field of wastewater treatment", *Vodnoe hoziajstvo Rossii: problemi, tehnologii.upravlenie* [Water sector of Russia. Problems, technologies, management] **4**, 105–116 (2021) (in Russian).

5. Zaynullin, R.R., Galiautdinov, A.A., "Production of fertilizers from sewage sludge", *Innovatsionnaja nauka* [Innovation science] **6**, 74–75 (2016) (in Russian).

6. Zvyagintsev, D.G., Bab'eva, I.P., Zenova, G.M., *Soil Biology: Textbook* (Moscow: Publishing house of the Moscow University, 2005). ISBN 5-211-04983-7 (in Russian).

7. Kamyshnikova, E., "Overview of wastewater treatment methods for their application in crop irrigation", *Construction and industrial safety* **1** (53), 100–113 (2015) (in Russian).

8. Kondratiev, S.A., *Formation of the external load on reservoirs: problems of modeling* (St. Petersburg: Nauka, 2007) (in Russian).

9. Manenko, A.K., Tkachenko, G.M., Kasiyan, O.P., Iurchenko, S.T., "Hygienic justification of the possibility of using sludge from wastewater treatment plants as an organic fertilizer", *Gigiena I sanitarija* [Hygiene and Sanitation] **99** (3), 259–264 (2020) (in Russian).

10. Pakhnenko, E.P., Gunina, E.A., Nikolaev, Yu.A., Grachev, V.A., "Criteria for the safe use of sewage sludge based on new and traditional processing technologies", *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Serija 17. Pochvovedenie* [Bull. of Moscow University. Ser. 17. Soil Science] **4**, 36–41 (2012) (in Russian).

11. Savinova, A.A., Falynskova, N.P., "Biogenic elements in the environment and in living organisms", *Innovatsionnaja nauka* [Innovation science] **5**, 25–28 (2012) (in Russian).

12. Savostikova, O.N., Mamonov, R.A., Tyurina, I.A., Alexeyeva, A.V., Nikolaeva, N.I., "Xenobiotics and their transformation products in wastewater (a review)", *Gigiena I sanitarija* [Hygiene and Sanitation] **100** (11), 1218–1223 (2021) (in Russian).

13. Khramenkov, S.V., Kozlov, M.N., Shchegol'kova, N.M., Vanyushina, A.Ya., Agarev, A.M., Grachev, V.A., "Use of soil mixtures with sewage sludge and water treatment residues for growing industrial crops", *Vodosnabjzenie I sanitarnaja tehnika* [Water Supply and Sanitary Technique] **10**, 72–77 (2012) (in Russian).

14. Khramenkov, S.V., Kozlov, M.N., Shchegol'kova, N.M., Dorofeyev, A.G., "A resource for special purposes. Using the potential of purified urban water for biofuel production", *Voda Magazine* [Water Magazine] **1**, 18–22 (2011) (in Russian).

15. Shchegol'kova, N.M., "Soil utilization of sludge from biological water treatment facilities: step by step", E*kologiya proizvodstva* [Ecology of production] **1**, 68–73 (2018) (in Russian).

16. Shchegol'kova, N.M., Moizhes, O.V., Shashkina, P.S., "Photobioreactor for wastewater treatment from biogenic elements and disinfection", *Voda: himija I ecologija* [Water: chemistry and ecology] **2**, 9–16 (2010) (in Russian).

17. Shchegol'kova, N.M., Rybka, K.Yu., Kozlova, M.A., Kharitonov, S.L., "Analysis of municipal wastewater composition for predicting urban population health", *Vodnie resursi* [Water resources] **50** (2), 218–231 (2023) (in Russian).