

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЛОВЫХ КАРТ (ПЛОЩАДОК)

Дрегуло А. М.

IDENTIFICATION AND PREDICTION OF CLIMATIC LOADS FOR DESIGN AND OPERATION OF DRYING BEDS

Dregulo A. M.

Аннотация

Антропогенная нагрузка, изменение физико-климатических факторов становится фактором деградации санитарно-технических систем обработки осадков сточных вод (иловых карт, площадок). Рост выпадения атмосферных осадков, не учтенных при проектировании иловых карт (площадок), оказывает дополнительную нагрузку, проявляющуюся в смыве нагруженного и буртованного осадка сточных вод, приводит к кольматации дренажа иловых карт (площадок) и, как следствие, полной потере их эксплуатационных свойств. **Методы и материалы.** Проанализированы массивы метеорологических станций, расположенных на всей территории Российской Федерации. Проведены сравнение и оценка адекватности предложенных алгоритмов расчета климатического коэффициента μ за периоды действия нормативных требований. **Результаты и обсуждение.** Динамика изменения климатических факторов — температуры воздуха и количества атмосферных осадков на территории РФ — показывает, что введенные ранее нормативные требования к определению климатического коэффициента μ не адекватны и должны быть пересмотрены. **Выводы.** В предшествующие 50 лет расчеты иловых карт (площадок) могли зачастую содержать ошибки при градации территорий по климатическим характеристикам коэффициента μ , вследствие чего эксплуатация и эффективность иловых карт (площадок) значительно снижались, что могло стать причиной их захламления и в конечном итоге привело к трансформации в объекты накопленного экологического ущерба.

Ключевые слова: иловые карты (площадки), обработка осадков сточных вод, климатический коэффициент μ , нормативы СНиП.

Введение

На сегодняшний день большинство людей живет в городах. К 2030 году примерно 60 % прогнозируемого мирового населения в 8,3 млрд.

Abstract

Anthropogenic load, changes in physical and climatic factors result in degradation of sanitary and technical systems for wastewater sludge treatment in drying beds. An increase in precipitation, neglected in design of drying beds, results in an additional load manifesting in flushing of loaded and piled wastewater sludge, drainage clogging in drying beds and, as a consequence, their complete performance loss. Arrays of meteorological stations located in the territory of the Russian Federation are analyzed. Proposed algorithms for calculating the climatic coefficient μ during the effective periods of regulations are assessed in terms of their adequacy and compared. Dynamics of climate changes, i.e. changes in air temperature and precipitation amount in the territory of the Russian Federation, shows that the previously introduced regulations related to determination of the climatic coefficient μ are not adequate and should be revised. In the previous 50 years, designs of drying beds might have errors in terms of territory gradation according to climatic characteristics (coefficient μ), which resulted in a significant decrease in operation and efficiency of drying beds and could cause their cluttering and eventually lead to their transformation into objects of accumulated environmental damage.

Keywords: drying beds, wastewater sludge treatment, climatic factor μ , building codes

человек будут проживать в городах [17], что, безусловно, приведет к увеличению нагрузки на инфраструктуру в целом и на системы водоотведения в частности.

По данным Росстата [13] динамика утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления (в том числе отходов водоотведения) по видам экономической деятельности в Российской Федерации, увеличилась почти вдвое. Однако технологические проблемы, связанные с объектами водоотведения, в частности с утилизацией осадка сточных вод, не теряют своей актуальности.

Осадки сточных вод являются гигроскопичными почвоподобными средами, способными впитывать и удерживать влагу. При выпадении контакте атмосферной влаги с осадками сточных вод увеличиваются удельные объемы последних за счет разбухания.

Наряду с этим нормативно-правовая база классифицирует иловые карты (площадки) как санитарно-технические системы обработки осадков сточных вод, которые не являются объектами захоронения, хранения, складирования отходов. В то же время технологические приемы обработки осадков сточных вод, закрепленные в нормативной литературе, подразумевают длительную обработку осадков на иловых картах (площадках), что приводит к буртованию осадка на иловых картах, их захламлению, и в конечном итоге деградации инженерных сетей [4]. Эти факторы являются лимитирующими для нормальной эксплуатации иловых карт (площадок) ввиду тесной взаимосвязи с изменением климата.

Прогнозные оценки изменения климата с 2005–2015 гг. подтвердили определенную тенденцию роста температуры и количества осадков [12].

За последние 15 лет объемы годового стока для преобладающей Европейской части России увеличились на 50–120 %. В летне-осенний период это наблюдается по всей территории России, в связи с чем ожидается увеличение годового стока рек [12]. Здесь особенно важно отметить влияние экстремальных осадков.

По данным исследований [6–9, 15] с 1960 по 2012 г. на большей части территории Европы и России наблюдается увеличение как абсолютной (до 8 % в десятилетие), так и относительной (до 5 % в десятилетие) экстремальности осадков.

Региональными особенностями изменения климата могут оказаться как орографические преграды, так и зоны, разделяющие террито-

рию по воздействию антропогенных факторов, влияющих на процессы подсушивания осадков. Поэтому изменения климатических параметров оказывает непосредственное влияние на обезвреживание осадков и эксплуатацию в целом техноприродных сооружений.

В Климатической доктрине РФ п. 14 отмечается, что «последствия изменений климата различны для регионов Российской Федерации, а в пределах одного региона по-разному влияют на группы населения, отрасли экономики и природные объекты. В связи с этим однозначная оценка последствий вероятных изменений климата для Российской Федерации невозможна, и при выработке политики в области климата следует учитывать весь комплекс потерь и выгод, связанных с изменениями климата» [11].

Выявление таких тенденций налагает на службы водоотведения дополнительную ответственность оценивать риски, связанные как с увеличением поверхностного стока в системы канализации, так и обводнения иловых карт (площадок) и дальнейшей утилизации осадков сточных вод.

Цель работы: оценка адекватности подходов к определению климатического коэффициента μ используемого в проектировании иловых карт (площадок).

Методы и материалы

Для оценки тенденций изменения климатических параметров температуры и количества осадков и были проанализированы специализированные массивы климатических с 1966 по 2012 г. исследований по данным представленных в открытом доступе 518 станций по ЯОД-архивам Web Аисори-М ВНИИГМИ-МЦД [14].

Хронологический период данных метеостанций для исследования обозначенной проблемы выбран исходя из времени опубликования и введения карты-схемы и алгоритма работы с ней для определения климатического коэффициента μ в научной и нормативной литературе.

Ранжирование значений климатических факторов температуры и количества осадков для определения климатического коэффициента μ проводились с применением единого диапазона, где диапазон температуры воздуха составлял единый шаг ± 4 °С, и единый шаг для количества осадков ± 100 мм. При невыполнении условия

$\mu = 1$, что соответствует диапазону температуры $+3 \dots +7 \text{ }^\circ\text{C}$, и диапазону количества осадков $500\text{--}600 \text{ мм}$, коэффициент μ изменялся на $\pm 0,1$.

Пространственная интерполяция значений температуры и осадков выполнена методом Natural neighbor interpolation (Robin Sibson). Построения растровых карт с наложением полученных данных и их формализаций использовали программный комплекс ArcGIS 10.4.1

Результаты и обсуждение

Метод расчета иловых карт (площадок) был разработан в 20-е годы XX века [1]. В основе расчета лежит величина нагрузки, под которой подразумевается объем иловой смеси K_f ($\text{м}^3/\text{м}^2$), размещенный на единицу площади в год. Впоследствии, была предложена карта-схема (рис. 1, а), включающая K_t климатический коэффициент изменяющийся на 9 климатических зон (от 0,6 на севере до 1,4 на юге). где климатический коэффициент μ варьировался в диапазоне от 0,5 на севере до 1,7 на юге [5].

Данная карта-схема была введена в нормативные документы [2] (рис. 1, б) и использовалась на протяжении 27 лет, а позднее с незначительными с изменениями, представленная в [10] (рис. 1, в), которая и используется по настоящее время.

Определяемой величиной является полезная площадь иловой площадки $F_{\text{пол}}$ рассчитываемая по формуле

$$F_{\text{пол}} = W_{\text{ос}} / (K_f \times K_t).$$

Согласно [5] климатический коэффициент μ должен иметь равный шаг для всей территории страны, так как принят за единицу определенный ряд климатических факторов в определенном диапазоне.

Однако в [2 и 10] говорится, что при подсушивании осадка в естественных условиях нагрузку на иловые площадки в районах со среднегодовой температурой воздуха $+3 \dots +6 \text{ }^\circ\text{C}$ и количеством осадков **не более 500 мм/год**, дальнейшая картографическая градация климатического коэффициента отсутствует. При этом очевидно, что эти территории занимают весьма незначительную площадь (рис. 2), поэтому иные будут иметь акцентировано другие значения.

Для территорий, располагающихся не на проведенных изолиниями (рис. 2) коэффициентах μ (а, к примеру, между ними), для расчета иловых

карт (площадок) также потребуется интерполяция μ .

Основополагающим этапом алгоритма расчета μ в таком случае будет определенная географическая точка, располагающаяся между изолиниями. По мере удаления этой географической точки от одной изолинии и приближения к другой («на глаз») собственно и будет определяться климатический коэффициент μ .

В таком случае для принятия решений выбора климатического коэффициента μ при интерполяции данных необходимо иметь значительную базу метеоданных.

Немаловажная проблема, на которую А. З. Евилевич обращал внимание — это недостаточность имеющихся метеоданных, на основании которых и была предложена им карта-схема [5].

При детальном изучении решений, предложенных для расчета иловых карт (площадок) и выбранных номинальных климатических значений, стало очевидно, что предложенный в [5] алгоритм в сравнении с [2, 10] имеет более удачное решение при градации доминирующих факторов температуры воздуха и количества выпадения атмосферных осадков. Другие два — относительная влажность воздуха и поверхностная температура почвы — находятся в определенной зависимости от первых.

Так, при изменении температуры воздуха и количества выпадения атмосферных осадков соответственно изменится и температура почвы, и влажность воздуха. При этом влажность воздуха оказывает влияние только на поверхностные слои осадка, а поверхностная температура почвы будет оказывать влияние только при условии проектирования иловой площадки на открытом грунте. Такое термическое воздействие представляется незначительным для процесса сушки осадков сточных вод на иловой карте (площадке).

Сравнение полученных результатов (и их формализация в картографическом виде) и карт-схем распределения климатического коэффициента μ (от момента опубликования до последней редакции нормативного документа, регулирующего расчет с использованием данной карты схемы) позволило оценить адекватность расчета иловых площадок, ключевым в котором является анализ алгоритма расчета коэффициента μ .

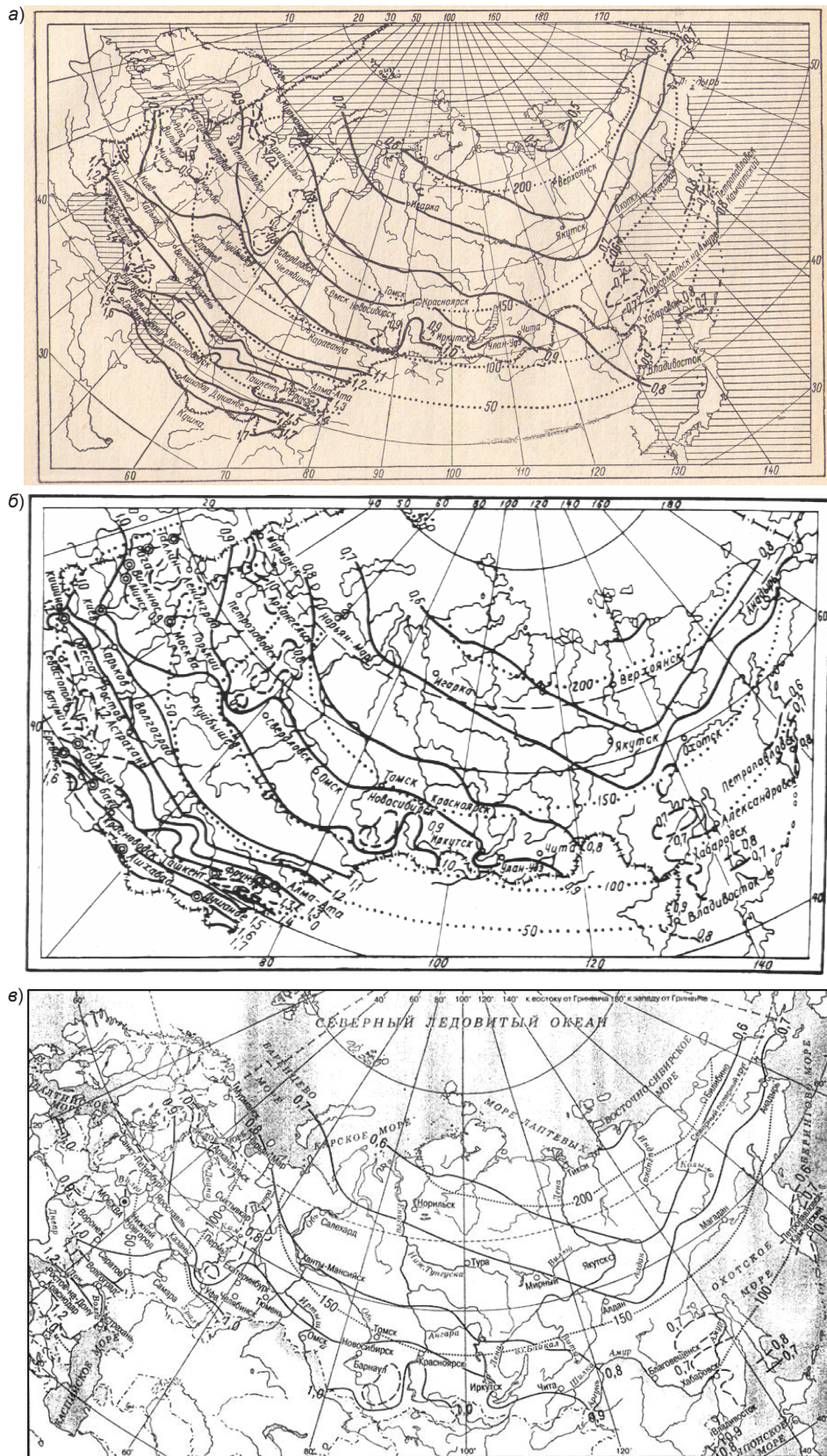


Рис. 1. Схема распределения климатического коэффициента μ для расчета иловых площадок: а) [5]; б) [2]; в) [10]

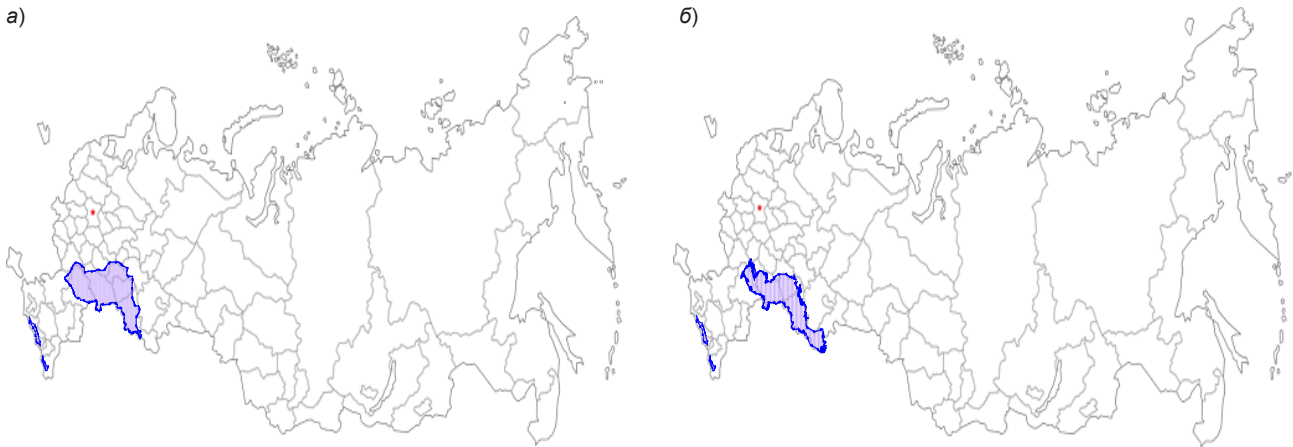


Рис. 2. Градация территорий по нормативным требованиям [10]:
а) в период с 1966–1985; б) в период с 1986–2012

Динамика изменения коэффициента в период с 1966 по 1985 г. (рис. 3) и с 1986 по 2012 г. (рис. 4) позволяет отметить климатический коэффициент μ (к примеру, северных территорий Сибири) и смены зон с $\mu = 0,6$ и $0,7$ на $\mu = 0,8$ и $0,9$.

Очевидно, что значительные изменения территориального зонирования по коэффициенту μ носят нелинейный характер и объясняются как локальными, так и глобальными климатическими изменениями.

Отличительная особенность смены зон для осадков — это не фронтальная подвижность, как в случае с температурой, а зональное укрупнение характерной области практически по всему радиусу ранее имеющих меньшие среднегодовые значения в длительном хронологическом цикле наблюдений.

Можно ожидать, что температурный скачок в определенных районах будет интенсифицировать подсушивание (обезвоживание) осадков и соответственно может увеличиваться напуск



Рис. 3. Карта распределения климатических коэффициентов μ с границами температурных зон и зон осадков за период с 1966–1985 гг.

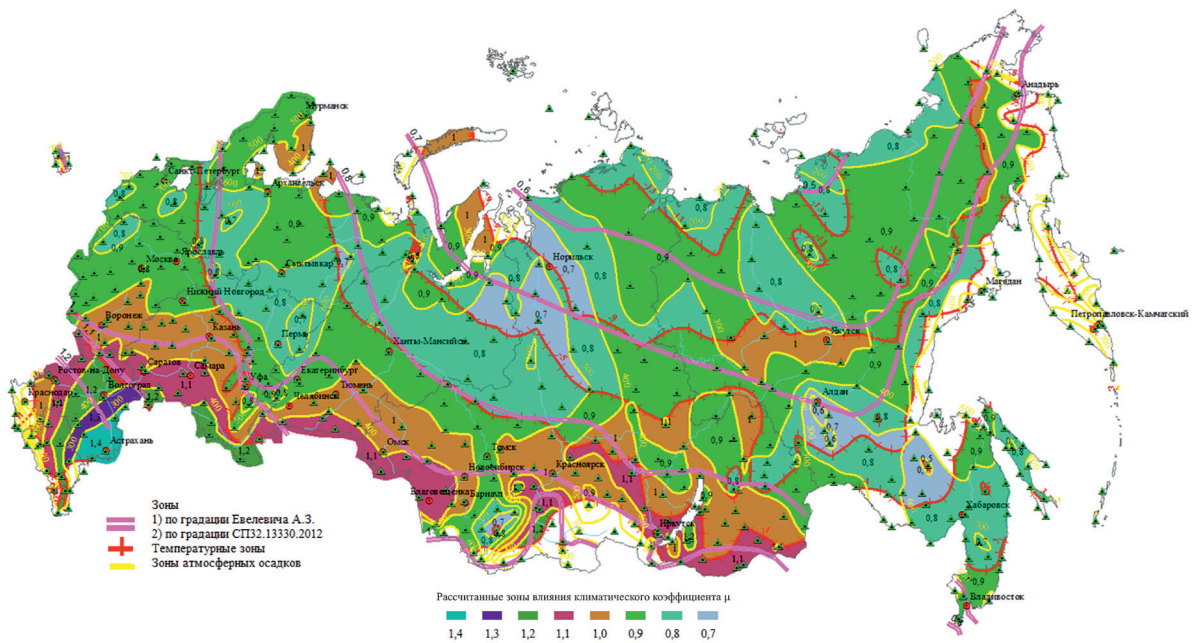


Рис. 4. Карта распределения климатических коэффициентов μ с границами температурных зон и зон осадков за период с 1986–2012 гг.

иловой смеси, однако и увеличение количества выпадения атмосферных осадков может нивелировать влияние повышения температуры на сушку илового осадка.

С другой стороны, с увеличением температуры воздуха количество осадков может оставаться прежним, увеличиваться или уменьшаться. Это справедливо и в обратном случае, когда температура остается в прежнем диапазоне, но увеличивается количество выпадения атмосферных осадков, что изменит территориальную специфику μ и его значение.

Анализ количества осадков и их территориальное зонирование (рис. 5) показывает, что на территориях (зона μ 0,8–0,9) от Мурманска до Воронежа зоны с осадками до 500 мм отсутствуют, количество осадков колеблется от 600–800 мм. Именно увеличение количества осадков будет способствовать смене μ понижением его порядка, что выразится в недоучете полезной площади иловой карты (площадке) при проектировании. Это приведет к дополнительной нагрузке на иловую карту (площадку), а осадок сточных вод не будет соответствовать требованиям по количеству влаги. Другими словами, осадок сточных вод, поступивший на обработку на иловые карты (площадки) попросту не будет сохнуть или

будет, но в более длительный интервал времени, что не очевидно для алгоритма идентификации климатического коэффициента μ , предложенного в нормативной литературе.

Поэтому то же самое, но уже с обратным эффектом значительно для северных районов. Например, Якутск, располагающийся на территории со среднегодовой температурой $-5... -9$ °C и согласно с [10] имеющий $\mu = 0,7$ при учете многолетней динамики температуры и количества осадков будет иметь $\mu = 0,9$ (рис. 4).

Ввиду повышенной влажности операторы полигонов не принимают иловые осадки из-за проблем нестабильности склонов свалок и прочности при напряжении, последствиями которого является оседание каркаса свалки.

Испытания на свободное набухание показали, что при повторной гидратации иловый осадок удваивает объем [16]. Это относится, например, к характеристикам набухания термически высушенных илов, размещаемых на полигоне. Погрузочно-разгрузочные работы и строительство полигона в этом случае могут оказаться затруднительными, как собственно и выемка ила с иловой карты (площадки).

Учитывая непрерывность технологического потока образующихся осадков сточных вод, это

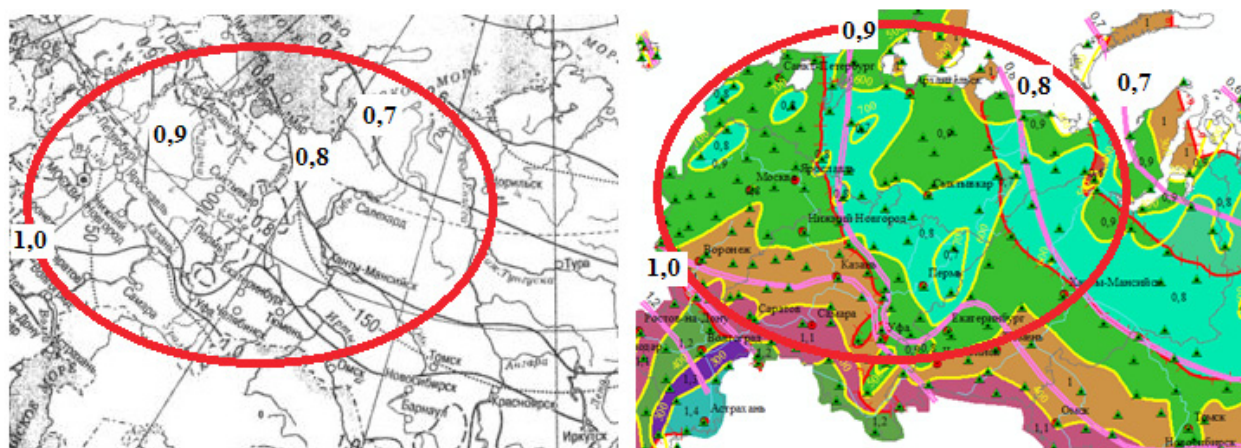


Рис. 5. Изменение коэффициента μ внутри фронта (границ изолиний) (Фрагменты карты [15] и предложенной карты интегрального расчета μ)

приведет к необходимости буртования, складирования, хранения свежего осадка для обработки на иловых картах (площадках). Последнее запрещено законом [3] для санитарно-технических систем обработки сточных вод, которые не являются объектами хранения и захоронения отходов, и в конечном итоге приведет к захламлению и деградации инженерных систем иловых карт (площадок).

Все это свидетельствует о том, что климатические факторы на протяжении всего периода находились в определенной динамике, выходящих за определенные интервалы, принятые в нормативной литературе, на основании чего можно судить о неадекватности предложенных решений в нормативной документации в [2, 12].

Поэтому, устоявшаяся практика строительства и эксплуатации иловых карт (площадок), не учитывающая изменения климатической нагрузки, будет обусловлена дополнительными экономическими издержками на флокулянты для дегидрирования осадков сточных вод, что также несет на себе определенные проблемы кольматации дренажа иловых карт (площадок) и внесения дополнительных химических веществ в состав осадков.

Заключение

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что требования к расчету иловых площадок, регламентируемые в актуальной редакции нормативной документации имеет ряд значительных недостатков. В предшествующие 40–50 лет расчеты иловых карт (площадок), вы-

полненные согласно нормативной документации, могли зачастую содержать ошибки при градации климатического коэффициента μ , вследствие чего эксплуатация и эффективность иловых карт (площадок) значительно снижались, что могло стать причиной их захламления и в конечном итоге привело к трансформации в объекты накопленного экологического ущерба (НЭУ).

Решением данной проблемы является оптимизация полезной площади иловых карт (площадок) за счет прогнозирования изменений климатообразующих факторов, с учетом выпадения атмосферных осадков в конкретной мезоклиматической зоне их расположения.

Литература

1. Воронов, Ю. В. и Яковлев, С. В. (2006). Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 704 с.
2. Госстрой СССР (1986). СНиП 2.04.03–85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 85 с.
3. Государственная Дума РФ (1998). Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 31.12.2017). [online] Доступно по ссылке: <http://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 26.06.2018).
4. Дрегуло, А. М. и Кудрявцев, А. В. (2018). Трансформация техноприродных систем водоотведения в объекты прошлого экологического ущерба: проблемы нормативно-законодательной базы. Вода и экология: проблемы и решения, № 3, сс. 54–62. doi: 10.23968/2305–3488.2018.20.3.54–62.
5. Евлевич, А. З. (1957). К расчету иловых карт. Водоснабжение и санитарная техника, № 10, сс. 30–32.
6. Золина, О. Г. (2011). Изменение длительности синоптических дождевых периодов в Европе с 1950 по 2008 годы

и их связь с экстремальными осадками. Доклады Академии наук, т. 436, № 5, сс. 690–695.

7. Золина, О. Г. (2018). Статистическое моделирование экстремальных атмосферных осадков и их роль в региональном гидрологическом цикле. канд. физ.-мат. наук (автореферат). М.: Гидрометцентр России. 54 с.

8. Золина, О. Г. и Булыгина, О. Н. (2016). Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 1, сс. 84–103. doi: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103.

9. Матвеева, Т. А., Гущина, Д. Ю. и Золина, О. Г. (2015). Крупномасштабные индикаторы экстремальных осадков в прибрежных природно-экономических зонах европейской территории России. *Метеорология и гидрология*, № 11, сс. 20–32.

10. ООО «РОСЭКОСТРОЙ», ОАО «НИЦ Строительство» (2012). Свод правил СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации. 85 с.

11. Президент России (2009). Утверждена Климатическая доктрина Российской Федерации. [online] Доступно по ссылке: <http://kremlin.ru/events/president/news/6365> [дата обращения: 29.10.2018].

12. Росгидромет (2005). Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики. М.: Росгидромет. 30 с.

13. Федеральная служба государственной статистики (2017). Основные показатели охраны окружающей среды — 2017 г. [online] Доступно по ссылке: http://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr17/Main.htm [дата обращения: 19.10.2018].

14. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (2018). Автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ). [online] Доступно по ссылке: <http://meteo.ru/it/178-aisori> [дата обращения: 10.02.2018].

15. Чернокульский, А. В., Козлов, Ф. А., Золина, О. Г., Булыгина, О. Н. и Семенов, В. А. (2018). Климатология осадков разного генезиса в северной Евразии. *Метеорология и гидрология*, № 7, сс. 5–18.

16. O’Kelly, B. C. (2005). Sewage sludge to landfill: some pertinent engineering properties. *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 55, issue 6, pp. 765–771. doi: 10.1080/10473289.2005.10464670.

17. United Nations Population Division (2018). Revision of World Urbanization Prospects. [online] World Urbanization Prospects 2018. Доступно по ссылке: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> [дата обращения: 29.10.2018].

Reference

1. Voronov, Yu. V. and Yakovlev, S. V. (2006) *Vodootvedeniye i oshistka stochnykh vod. Uchebnik dlya vuzov [Wastewater disposal and treatment. Textbook for higher educational institutions]*. Moscow: ASV Publishing House, 704 p. (in Russian).

2. Gosstroy of the USSR (1986). SNiP 2.04.03–85. *Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya [Public sewer systems and facilities]*. Moscow: Central Institute of Standard Designing, Gosstroy of the USSR, 85 p (in Russian).

3. State Duma of the Russian Federation (1998). *Federalny zakon “Ob otkhodakh proizvodstva i potrebleniya” ot 24.06.1998 № 89-FZ (red. 31.12.2017) [Federal law “Concerning wastes of production and consumption” No. 89-FZ dated 24.06.1998 (revision as of 31.12.2017)]*. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/901711591> (in Russian).

4. Dregulo, A. M. and Kudryavtsev, A. V. (2018) Transformatsiya antropogennykh sistem v obyektakh proshlogo ekologicheskogo ushcherba: problemy zakonodatelnoy bazy [Transformation of techno-natural systems of water treatment to objects of past environmental damage: peculiarities of the legal and regulatory framework]. *Water and Ecology*, No. 3, pp. 54–62. doi: 10.23968/2305–3488.2018.20.3.54–62 (in Russian).

5. Evilevich, A. Z. (1957). K raschetu ilovykh kart [Concerning design of drying beds]. *Water Supply and Sanitary Technique*, No. 10, pp. 30–32 (in Russian).

6. Zolina, O. G. (2011). *Izmeneniye dlitelnosti sinopticheskikh dozhdevykh periodov v Evrope s 1950 po 2008 gody i ikh svyaz s ekstremalnymi osadkami [Change in the duration of synoptic rainy periods in Europe from 1950 to 2008 and their relation to extreme precipitation]*. *Doklady Akademii Nauk*, vol. 436, No. 5, pp. 690–695 (in Russian).

7. Zolina, O. G. (2018). *Statisticheskoye modelirovaniye ekstremalnykh osadkov i ikh rol v regionalnom gidrologicheskom tsikle [Statistical modeling of extreme precipitation and its role in the regional hydrological cycle]*. PhD in Physics and Mathematics (extended abstract of the PhD Thesis). Moscow: Hydrometeorological Centre of Russia, 54 p. (in Russian).

8. Zolina, O. G. and Bulygina, O. N. (2016). *Sovremennaya klimaticheskaya izmenchivost ekstremalnykh kharakteristik osadkov v Rossii [Current climatic variability of extreme precipitation in Russia]*. *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 1, pp. 84–103. doi: 10.21513/2410-8758-2016-1-84-103 (in Russian).

9. Matveeva, T. A., Gushchina, D. Y. and Zolina, O. G. (2015). *Krupnomasshtabnye pokazateli ekstremalnykh osadkov v pribrezhnykh prirodnykh i ekonomicheskikh zonakh yevropeyskoy territorii Rossii [Large-scale indicators of extreme precipitation in coastal natural-economic zones of the European part of Russia]*. *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 11, pp. 20–32 (in Russian).

10. ООО “РОСЭКОСТРОЙ”, ОАО “НИЦ Строительство” (2012). *Svod pravil SP 32.13330.2012. Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya [Set of Rules SP 32.13330.2012. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants]*. Moscow: Ministry or Regional Development of the Russian Federation, 85 p. (in Russian).

11. President of the Russian Federation (2009). *Utverzhdena Klimaticheskaya doktrina Rossiyskoy Federatsii [Climate Doctrine of the Russian Federation has been approved]*.

Available at: <http://kremlin.ru/events/president/news/6365> (in Russian).

12. Roshydromet (2005). *Strategicheskiy prognoz izmeneniya klimata v Rossiyskoy Federatsii na period do 2010–2015 gg. i yego vliyaniye na ekonomiku [Strategic forecast of climate change in the Russian Federation for the period up to 2010–2015 and its impact on the economy]*. Moscow. Roshydromet, 30 p. (in Russian).

13. Federal State Statistics Service (2017). *Osnovnye pokazateli okhrany okruzhayushchey sredy — 2017 [Main indicators of environmental protection — 2017]*. Available at: http://www.gks.ru/bgd/regl/b_oxr17/Main.htm (in Russian)

14. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (2018). *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema dlya obrabotki rezhimnoy informatsii (AISORI) [Automated information system for processing regime information (AISORI)]*. Available at: <http://meteo.ru/it/178-aisori> (in Russian).

15. Chernokulsky, A. V., Kozlov, F. A., Zolina, O. G., Bulygina, O. N., Semenov, V. A. *Klimatologiya osadkov raznogo genezisa v Severnoy Yevrazii [Climatology of precipitation of different genesis in Northern Eurasia]*. *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 7, pp. 5–18 (in Russian).

16. O’Kelly, B. C. (2005). Sewage sludge to landfill: some pertinent engineering properties. *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 55, issue 6, pp. 765–771. doi: 10.1080/10473289.2005.10464670.

17. United Nations Population Division (2018). Revision of World Urbanization Prospects. World Urbanization Prospects 2018. Available at: <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/>.

Автор

Дрегуло Андрей Михайлович, канд. биол. наук
Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр
экологической безопасности Российской академии наук
(НИЦЭБ РАН), Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Adregulo@bk.ru

Author

Dregulo Andrey Mikhailovich, Ph. D. in Biology
Scientific Research Center for Ecological Safety of the
Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg
(ex Leningrad), Russian Federation
E-mail: Adregulo@bk.ru