

ОЦЕНКА ПОСТУПЛЕНИЯ РЫХЛЫХ НАНОСОВ С ВОДОСБОРА В ВОДОЕМ НА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

А. А. Селезнев^{1,2}, А. В. Шевченко^{1,2}, В. С. Глухов¹, Г. П. Малиновский²

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

² Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Проведена оценка поступления твердого седиментационного материала (поверхностных наносов) с водосбора в водоем на урбанизированной территории. Исследование проведено на примере Екатеринбурга. В городе было выбрано два бессточных малых мелководных водоема: Чемоданчик и в Харитоновском саду. Водоемы располагаются в разных районах города, имеют антропогенное происхождение, назначение водоемов рекреационное. Водосборы расположены на сопряжениях разных функциональных зон города. Проводили натурное обследование и анализ картографических материалов территорий водосборов, определение батиметрических и морфометрических параметров водоемов, отбор колонок донных отложений. Оценку запасов донных отложений в водоемах проводили по трехмерной триангуляционной модели. Оценку выноса седиментационного материала с водосбора проводили по модели RUSLE. Параметры модели RUSLE были получены на основе рассчитанного количества донных отложений (для водоема Чемоданчик 953 т, и водоема в Харитоновском саду 967 т при средней мощности донных отложений в водоемах 49 и 31 см соответственно). Полученные оценки скорости образования седимента на водосборах составили: для Чемоданчика на участках зоны отдыха 0,4–3,7, на лесных участках 0,001–0,4 т/м²/год, для Харитоновского сада – в зоне отдыха 0,3–10, леса – 0,01–0,02 и парка 0,02–2 т/м²/год.

Ключевые слова: урбанизированная территория; катена; седимент; эрозия; донные отложения; накопление; RUSLE; водоем.

1. Введение

Происходящая в урбанизированной среде геохимическая трансформация ландшафта приводит к нагрузке на объекты окружающей природной среды, в первую очередь на поверхностные водные объекты. В водном объекте, водосбором которого является урбанизированная территория, геохимические условия формируются суперпозицией антропогенного воздействия и природных особенностей формирования. Водосборы урбанизированной среды, как правило, представлены территориями функциональных зон города. Одним из аспектов техногенной геохимической трансформации городских ландшафтов является образование нового вида геологических отложений – современных антропогенных.

В современной городской среде происходят непрерывно природно-антропогенные седиментационные процессы, приводящие к образованию значительного количества твердых наносов. Каскадом процессов поверхностного стока современные осадки с городских территорий доходят до поверхностных водных объектов: рек, эстуариев [32, 39, 40]. В каскаде участвуют различные

функциональные участки и объекты инфраструктуры урбанизированной территории (газоны, парковки, дороги, почвы, ливневая канализация), задерживая часть седиментационного материала.

Учет всех процессов каскадной системы современного осадконакопления в городе труден и зачастую невозможен. Седиментационная каскадная система в городской среде включает следующие стадии: выветривание и дезинтеграцию поверхностей и материалов городских ландшафтов, седиментогенез (перенос и накопление осадочного материала на водосборных территориях) и накопление осадков водоемов. Ряд исследователей называет процессы современного осадкообразования в городской среде современным антропогенным литогенезом [8].

В урбанизированных зонах в седиментогенезе участвует в основном вещество, образованное в результате хозяйственной деятельности человека. По данным Е. П. Янина [16], модуль твердого стока вещества с городских районов на один-два порядка выше с зональных значений. В работе Russell et al. [36] проведена оценка образования твердого седимента в зависимости от типа ландшафта на основе данных большого количества исследований, проведенных в мире. На сельскохозяйственных землях образование седиментационного материала составляет примерно 100 т/км^2 в год, что на 1–2 порядка превышает величины для лесных экосистем. При строительстве жилых и промышленных районов образование твердых наносов увеличивается до $1\,000 \text{ т/км}^2$ в год [36]. Накопление поверхностного осадка в г. Екатеринбурге может достигать $3\,000 \text{ т/км}^2$ [37]. Вынос поверхностных отложений с городской территории обуславливает образование в реках освоенных районов специфического типа русловых отложений – техногенных илов, которые отличаются от фонового аллювия морфологией, вещественным составом, физико-химическими и геохимическими свойствами [16].

При изучении процессов современной геохимической трансформации городских ландшафтов современные наносы, как и другие компоненты городской среды, используют как геоиндикаторный компонент [21]. Мелкодисперсный пылевой материал в городской среде является основной транспортирующей загрязнение средой и неточечным источником загрязнения. Отдельно исследуют различные типы наносов. Дорожную пыль изучают с целью получения информации о перераспределении и накоплении пыли и поллютантов из атмосферы в результате выбросов промышленных предприятий и автотранспорта [17, 19], о миграции с ливневыми стоками и в виде сухих выпадений [41]. Также по современным отложениям получают информацию о формах нахождения поллютантов и источниках загрязнения городской среды. В работах Murakami et al. [30] и Irvine et al. [24] и других говорится о высоком содержании в дорожной пыли минеральных включений, продуктов абразии дорожного покрытия и разметки, истирания шин и тормозных колодок, коррозии металлических частей автотранспорта. При этом компоненты водосборов часто изучаются отдельно от компонентов водоема (воды и донных отложений).

Применяющиеся для изучения техногенной геохимической трансформации городских территорий принципы проведения ландшафтных эколого-геохимических исследований основаны на выделении сопряженных участков ландшафта, связанных общим водным стоком. В результате стока в ландшафте формируются зоны рассеяния и вторичной аккумуляции вещества (ландшафтно-геохимические барьеры). Комбинация эколого-геохимических исследований водосборов и

гидрохимических исследований водоемов позволила бы решить одну из значимых проблем городских территорий – поступление поллютантов в водоемы от диффузных источников загрязнения [5, 10].

Целью настоящей работы является оценка поступления твердого седиментационного материала (поверхностных наносов) с водосбора в водоем на урбанизированной территории.

2. Материалы и методы

2.1. Описание Екатеринбурга

Исследование проведено на примере Екатеринбурга. Город является четвертым по численности населения в России, имеет население примерно 1,5 млн человек. Екатеринбург – административный центр Свердловской области и Уральского федерального округа. Город находится на границе восточных предгорий Среднего Урала и Зауральской складчатой возвышенности в климатической континентальной умеренной зоне. Для этой территории характерно умеренно теплое лето и умеренно суровая снежная зима; средняя температура января составляет $-15,3$ °С, а июля – $+17,4$ °С; холодный период длится 151 день – с ноября по март. Рельеф на территории города крупнохолмистый. Загрязнение территории города и антропогенная нагрузка на урбанизированный ландшафт обусловлена большим количеством автомобилей, строительных площадок, работой предприятий машиностроения и металлообработки.

2.2. Характеристики обследуемых водоемов и их водосборов

На территории Екатеринбурга для проведения исследования было выбрано два бессточных малых мелководных водоема: Чемоданчик и водоем в Харитоновском саду. Водоемы располагаются в разных районах города. Водосборы водоемов расположены на сопряжениях разных функциональных зон города. Происхождение водоемов антропогенное. Водоемы имеют рекреационное назначение.

Водоем в Харитоновском саду располагается в центре Екатеринбурга и представляет искусственный пруд с двумя насыпными островами. Берега островов заболочены. Сад вместе с прудом был заложен в 1826 году. Водоем был вырыт для осушения болота на реке Пеньковке, впадавшей в реку Мельковку, которая в свою очередь впадала в городской пруд. С южной стороны в водосборе водоема располагается Вознесенский холм, перепад высот достигает 13 м. Водоем имеет неправильную форму.

Водоем Чемоданчик расположен в Академическом районе Екатеринбурга на территории Юго-Западного лесопарка, вблизи пересечения объездной автодороги и улицы Серафимы Дерябиной. Берега озера песчаные, с плавным заходом в воду, восточная часть водоема заболочена, в западной располагается насыпная дамба высотой 1,8 м над уровнем озера. По берегам вокруг озера обустроены беседки для отдыха.

2.3. Дизайн ландшафтного исследования

Исследования проводили с помощью подхода трансект-катен [14], адаптированного для водоема и его водосбора в городе. Водоем и его водосбор рассматриваются как геосистема, составная часть ландшафта, в которой взаимодействуют гидрохимические процессы и процессы поверхностного латерального сноса вещества. В основе подхода лежит бассейновый принцип. Трансект-катена представляет трехмерное тело, в котором сочетаются линейная

(профильная) и катенарная (ландшафтно-геохимическая сопряженность) характеристики вместе с площадной формой ландшафта в трансекте (полосе). Водосбор разделялся по трансект-катене на латеральные сопряженные участки ландшафта, последовательно сменяющие друг друга в направлении от локального водораздела к локальному базису денудации (водоему). Участки ландшафта на трансект-катене имеют функциональное назначение.

2.4. Полевые и лабораторные исследования

На выбранных трансект-катенах в осенний сезон 2019 г. проводилось натурное описание функциональных ландшафтных участков водосборных поверхностей с оконтуриванием их и водосборов и определением типа поверхности. При обследовании проводилась фотосъемка состояния каждого функционального участка. Площади ландшафтных участков определялись с помощью онлайн-сервиса – геоинформационная система Google Планета Земля.

В зимне-весенний сезон 2020 г. на водоемах проводился отбор проб донных отложений [4, 7, 12]. На поверхности водоема выбирались 3 равноудаленных друг от друга точки; точки располагались в наиболее глубоких участках водоема. В каждой точке проводилось три параллельных отбора проб донных отложений [4, 7, 12]. Пробы донных отложений отбирались согласно требованиям, изложенным в ГОСТ 17.1.5.01-80, Методике изучения биогеоценозов внутренних водоемов и Методических рекомендациях по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами [4, 7, 12]. Колонка донных отложений отбиралась пробоотборным устройством по типу желонки с частичным разрушением структуры образца. Высота колонки донных отложений измерялась рулеткой.

В летний период 2020 г. на водоемах проводились батиметрические исследования с лодки с использованием эхолота. Для водоемов по Google Планета Земля определялись морфометрические характеристики: длина, ширина, площадь, длина береговой линии, площадь, объем водной массы, средняя ширина (отношение площади водоема к его длине), показатель удлиненности или вытянутости (отношение длины озера к его средней ширине); показатель развития береговой линии (отношение длины береговой линии к длине окружности равновеликого по площади круга), площадь водосбора, показатель удельного водосбора (отношение площади водосбора озера к площади озера) [11]. Проводилась оценка морфометрических показателей, характеризующих форму озерных котловин: наибольшая и средняя глубина, показатель открытости и показатель емкости.

2.5. Расчет количества донных отложений в водоемах

По результатам батиметрических исследований построены батиметрические схемы водоемов. Батиметрические схемы конвертировались в систему плоских прямоугольных координат [6]. В системе плоских прямоугольных координат при заданной средней мощности донных отложений строилась трехмерная триангуляционная модель распространения донных отложений водоема. Построение модели производилось методом объединения кровли/подошвы [1]. Определение линии выклинивания между кровлей и подошвой осуществлялось по градиенту изменения эффективной мощности с выходом на нулевую мощность донных отложений вдоль берега водоема на глубине 0,4 м [2]. Плотность донных отложений была принята равной 0,8 т/м³ [9]. Оценка запасов донных отложений водоемов проводилась с использованием ПО Micromine в Уральском государственном горном университете.

2.6. Оценка выноса седимента с водосбора

Оценка количества вынесенного с водосбора седимента производилась с использованием модели RUSLE [35, 43], адаптированной для водосборов городской территории:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P, \quad (1)$$

где A – вынос материала почвы/грунта (потери), т/га/год,

R – фактор интенсивности осадков, МДж мм/га в час,

K – фактор подверженности почвы эрозии, т га ч/МДж мм га,

LS – фактор уклона и длины склона,

C – фактор покрытия и типа землепользования,

P – фактор, учитывающий применение противоэрозионных мер.

R -фактор зависит от климатических условий ландшафта, ключевую роль в которых играют количество и интенсивность атмосферных осадков, формирующих эрозию [35]. Данные о среднегодовых осадках в Екатеринбурге были взяты с интернет-сайта <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/28440.htm> и использованы для расчетов R -фактора (2) [34, 44].

$$R = 0,0438 \times P^{1,61}, \quad (2)$$

где P – среднегодовое количество осадков, мм/год.

K -фактор определяет устойчивость почвы/грунта к эрозии в стандартных условиях и зависит от гранулометрического состава почвы, содержания в ней песка, глины и ила [35, 34].

$$K = 0,0034 + 0,0405 \times \exp \left[-0,5 \times \left(\frac{\log D_g + 1,659}{0,7101} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где D_g – геометрическое среднее диаметров основных частиц почвы, мм. D_g является функцией текстуры поверхности, и ее значение может быть рассчитано следующим образом [35, 34]:

$$D_g = \exp \left(f_i \times \ln \left(\frac{d_i + d_{i-1}}{2} \right) \right), \quad (4)$$

где d_i – максимальный диаметр частицы, мм,

d_{i-1} – минимальный диаметр частицы, мм, f_i – соответствующая массовая доля.

Для региона Екатеринбурга характерными являются дерново-подзолистые почвы с соотношением размерных частиц: глина – 48 %, ил – 48 %, песок – 4 % [3]. Данное соотношение было принято для расчетов K -фактора обоих участков.

LS -фактор – это фактор длины и уклона, учитывающий влияние склоновых процессов на эрозию [43]. Для расчета LS -фактора было использовано уравнение (5) [29]:

$$LS = \left(\frac{A_s}{22,13} \right)^m \times \left(\frac{\sin \beta}{0,0896} \right)^n, \quad (5)$$

где A_s – определяется как площадь водосбора (A) склона на ширину его подножья («выхода» потока) (w) (рис. 1), m^2/m , $\sin \beta$ – угол склона, град., m и n – константы, 0,4 и 1,3 соответственно [29].

C -фактор отражает влияние растительного покрова и типа землепользования на скорость эрозии [34, 35, 43]. Значение фактора принимается от 0 до 1 в зависимости от типа покрытия. Чем меньше значение, тем устойчивее почвенный покров к эрозии [18, 20, 26].

R -фактор учитывает влияние проводимых защитных противозерозийных мероприятий [34, 35, 43]. Информации о проведении таких мероприятий на исследуемых участках нет, по этой причине значение R -фактора принимается равным 1 [26, 27, 34, 38].

Для оценки интенсивности эрозии исследуемые водосборы были разделены на функциональные сегменты. Каждый сегмент выделялся на основе таких ландшафтных характеристик, как уклон и тип покрытия. Для водосборной площади водоема Чемоданчик были выделены зоны: лес и зона отдыха. Для водоема Харитоновского сада: лес, зона отдыха и парк.

3. Результаты

3.1. Результаты полевых и картографических исследований

На рис. 1 и 2 соответственно представлены картосхемы площадей водосбора выбранных водоемов Чемоданчик и в Харитоновском саду г. Екатеринбурга (выкопировка из Google Планета Земля).



Рис. 1. Картосхема площади водосбора водоема Чемоданчик (выкопировка из Google Планета Земля). Матовым контуром показана площадь водосбора, линии – границы трансект-катены



Рис. 2. Картосхема площади водосбора водоема в Харитоновском саду (выкопировка из Google Планета Земля). Матовым контуром показана площадь водосбора, линии – границы трансект-катены

Батиметрические схемы водоемов Чемоданчик и в Харитоновском саду, построенные по натурным обследованиям, представлены на рис. 3 и 4 соответственно. Морфометрические характеристики водоемов показаны в табл. 1.

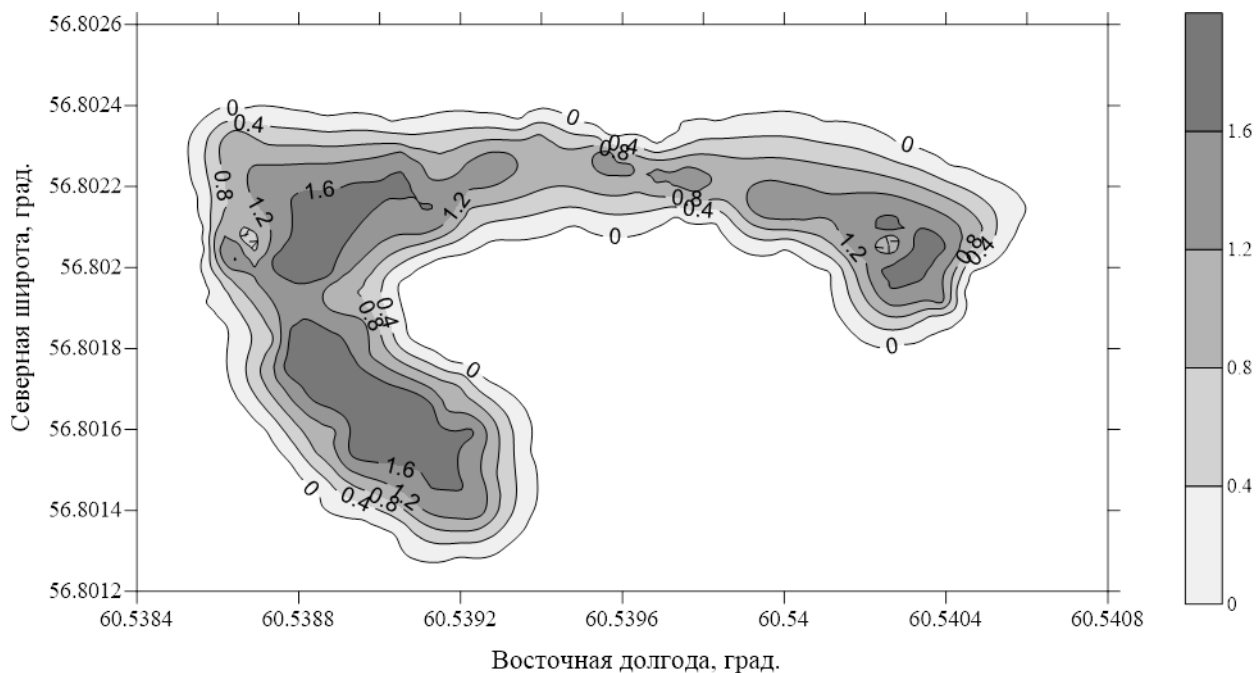


Рис. 3. Батиметрическая схема водоема Чемоданчик в г. Екатеринбурге. Изобаты проведены через 0,4 м

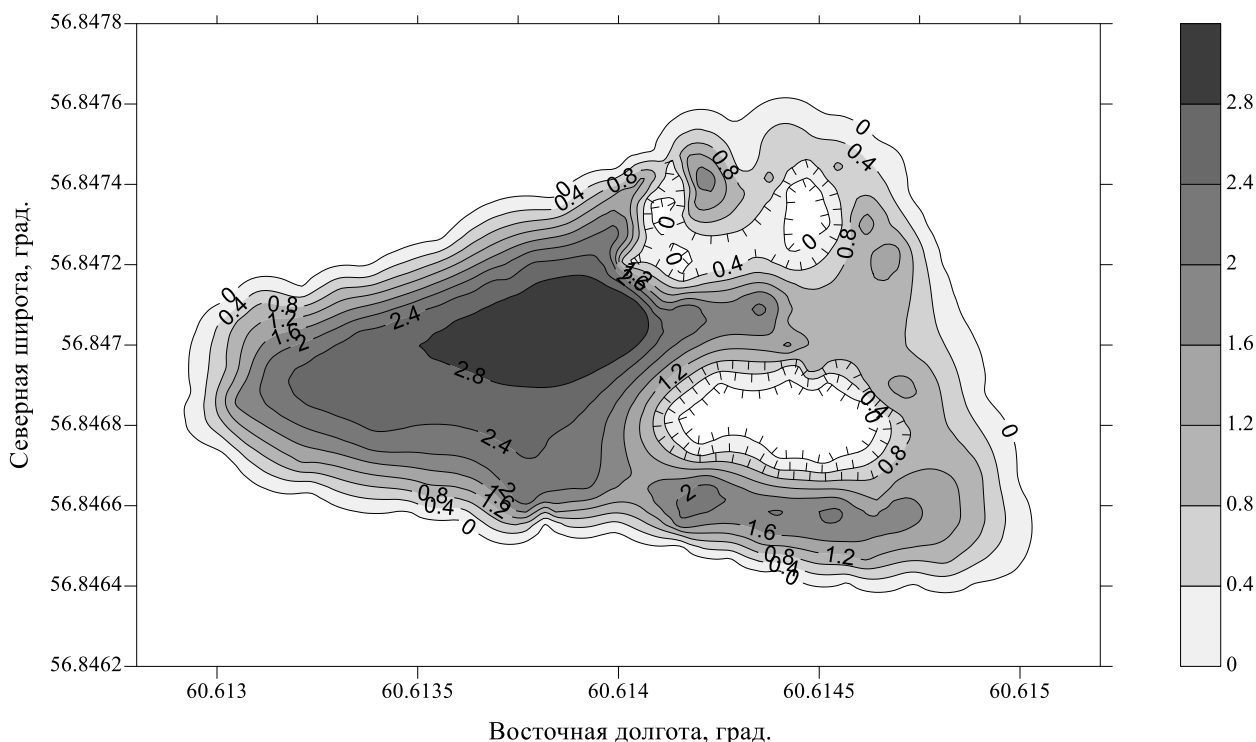


Рис. 4. Батиметрическая схема водоема в Харитоновском саду в г. Екатеринбурге. Изобаты проведены через 0,4 м

На водоемах Чемоданчик и в Харитоновском саду всего было отобрано 13 колонок с донными отложениями. На рис. 5 и 6 показаны колонки донных отложений, отобранных в водоемах Чемоданчик и в Харитоновском саду соответственно.

Таблица 1. Морфометрические характеристики водоемов

Показатель	Водоем	
	В Харитоновском саду	Чемоданчик
Длина водоема, м	132,6	129,6
Наибольшая ширина, м	105,1	110,9
Средняя ширина, м	67,2	53,5
Площадь, м ²	8 911	6 928
Длина береговой линии, м	682	528
Объем водной массы озера, м ³	5 261	1 144
Показатель удлиненности или вытянутости	2,0	2,4
Показатель развития береговой линии	2,0	1,8
Площадь водосбора, м ²	85 821	142 600
Показатель удельного водосбора	9,63	20,58
Наибольшая глубина, м	3,6	2,0
Средняя глубина, м	0,59	0,17
Показатель открытости	5 241,8	4 948,6
Показатель емкости	0,47	0,7



Рис. 5. Колонка донных отложений из водоема Чемоданчик в г. Екатеринбурге



Рис. 6. Колонка донных отложений из водоема в Харитоновском саду в г. Екатеринбурге

3.2. Количество запасов донных отложений водоемов

По результатам оценки количество донных отложений для водоемов Чемоданчик составило 953 т, Харитоновского сада – 967 т, при средней мощности донных отложений в водоемах составило 49 и 31 см соответственно (рис. 5 и 6).

3.3. Параметры модели и результаты оценки выноса наносов

Для проведения оценки выноса наносов водосбор водоема Чемоданчик был разделен на 18 ландшафтных сегментов в зависимости от их функциональных характеристик: уклона и типа покрытия. *R*- и *K*-факторы задавались одинаковыми для всех сегментов. Для расчетов *LS*- и *C*-факторов каждому сегменту присваивался ряд индивидуальных характеристик, таких как: площадь, уклон, ширина выхода потока, тип землепользования и тип покрытия. Значения параметров модели RUSLE и рассчитанная с их помощью величина скорости осадкообразования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения параметров модели RUSLE и рассчитанная с их помощью величина скорости осадкообразования

Тип ландшафтной зоны	Кол-во сегментов	Факторы модели RUSLE					Скорость образования седимента, т/м ² /год
		<i>R</i>	<i>K</i>	<i>LS</i>	<i>C</i>	<i>P</i>	
Водосбор водоема Чемоданчик							
Зона отдыха	6	1 193	0,0339	0,08–0,66	0,1	1	0,4–3,7
Лес	12			0,02–6,65	0,001		0,001–0,4
Водосбор водоема в Харитоновский саду							
Зона отдыха	19	1 193	0,0339	0,07–18,88	0,1	1	0,3–10
Лес	3			0,42–1,29	0,001		0,01–0,02
Парк	11			0,07–4,79	0,01		0,02–2

С учетом временной динамики накопления отложений, восстановленной по содержанию в них техногенного радиоактивного изотопа цезий-137 [13], можно получить оценку объема поступления седимента с водосбора за период накопления отложений в водоеме. Результаты оценки представлены в табл. 3.

Таблица 3. Оценка объема поступления седимента с водосбора в водоем за период накопления отложений, определенный по содержанию техногенного радиоактивного изотопа цезий-137 [13]

Водоем	Период накопления отложений, лет	Масса донных отложений, т
озеро Чемоданчик	52	953
пруд Харитоновского парка	35	967

4. Обсуждение

В выбранные бессточные водоемы могут поступать ливневые стоки с прилегающих автодорог и из дренажных каналов, питание водоемов осуществляется за счет атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод. Водосборы водоемов располагаются на сопряжениях разных функциональных зон города. Водосбор водоема Чемоданчик находится на сопряжении селитебной, рекреационной и зоны транспортной инфраструктуры, представленной объездной автодорогой. Водоем Чемоданчик участвует в регулировании сбора поверхностных вод на территории, прилегающей к автодороге: часть берега водоема формируется дамбой, препятствующей подтоплению зоны вдоль дороги. Водосбор водоема в Харитоновском саду расположен на сопряжении селитебной, общественно-деловой, рекреационной зон и улично-дорожной сети, представленной двухполосной дорогой с относительно высокой интенсивностью движения.

В трансект-катенах в водосборах водоемов достаточно большой перепад высот, который вызывает линейную и плоскостную эрозию (сбегающие струи по склонам рельефа после дождей), приводящую в конечном итоге к седиментации водоема. В обоих водоемах по результатам отбора проб обнаружены донные отложения (в озере Чемоданчик мощностью до 50 см, в пруду Харитоновского сада до 30 см); мощность отложений увеличивается на участках с большой глубиной.

Комплекс натурных обследований малых бессточных мелководных водоемов Чемоданчик и в Харитоновском саду и оценка их морфометрических характеристик позволяют говорить о том, что водные массы обследованных водоемов постоянно перемешиваются под действием ветра и однородны по всем параметрам. В обследуемых водоемах преобладают участки с глубинами меньше 2 м (зоны литорали). Батиметрические схемы наглядно демонстрируют формы котловин водоемов и дают представление об их происхождении. Котловина водоема Чемоданчик не имеет явной формы. Переменная глубина водоема, отсутствие правильных форм в профиле дна, малая глубина в его восточной части и два глубоких участка в западной части, разделенные мелководьем, дамба подтверждают антропогенное происхождение водоема как притрассового карьера, образовавшегося при строительстве кольцевой автодороги вокруг Екатеринбурга (такая информация была получена от местных жителей при проведении полевых исследований). Лимнологические и морфометрические параметры обследованных водоемов сопоставимы с показателями мелких бессточных водоемов крупных городов России, например г. Казани [15].

Полученные оценки выноса седимента с водосбора по модели RUSLE достаточно хорошо согласуются с результатами расчета накопления отложений в водоеме по трехмерной триангуляционной модели; при этом достаточно оказалось данных отбора и измерений для 13 колонок донных отложений. Полученные оценки выноса седимента и накопления донных отложений являются достаточно грубыми и могут быть подвержены влиянию ряда неопределенностей. Факторы модели RUSLE не имеют конкретного способа расчета. Выбор факторов был сделан на основе имеющихся исходных данных натурального и картографического анализа водосборов, а также анализа более 30 научных публикаций по оценке водной эрозии с помощью модели RUSLE.

Для модели RUSLE существует значительная вариативность каждого из параметров. Для R -фактора существует, например, 10 различных уравнений расчета в зависимости от географических и климатических условий [22]. В настоящей работе использовано уравнение из статей [34, 44], описывающее условия эрозии в одном из регионов США, имеющим схожие с Екатеринбургом климатические и метеорологические условия. Также были произведены расчеты с

помощью других уравнений [33, 45] и получены схожие с применяемым уравнением результаты. Для расчета *K*-фактора также было использовано уравнение из работы [34]. Хотя существует ряд различных способов расчета этого фактора, подход к нему всегда остается примерно одинаков. Вводимыми переменными в уравнение являются только характеристики гранулометрического состава почвы и содержания в ней органического вещества [31, 34, 42, 43]. Уравнения расчета *LS*-фактора в целом не имеют существенных различий в работах разных авторов, как и в настоящей, используется уравнение, разработанное [29]. Но встречаются и видоизмененные его варианты, например в работах [23, 28]. Подбор *C*-фактора в настоящей работе обусловлен неоднородностью покрытия и наличием рассчитанных значений количества донных отложений в озере Чемоданчик и в пруду Харитоновского сада.

5. Заключение и выводы

Использование комплексного подхода на основе полевых, батиметрических, картографических, аналитических методов, наряду с математическим моделированием стока, позволило достаточно уверенно оценить количество седимента, выносимого с водосбора в малый бессточный водоем в урбанизированном ландшафте, и его накопление. Параметры модели RUSLE, полученные на основе известного количества донных отложений (для озера Чемоданчик 953 т, пруда Харитоновского сада 967 т при средней мощности донных отложений в водоемах 49 и 31 см соответственно), позволили получить оценки скорости образования седиментационного материала на водосборах: для водоема Чемоданчик на участках зоны отдыха 0,4–3,7, на лесных участках 0,001–0,4 т/м²/год, для водоема в Харитоновском саду – в зоне отдыха 0,3–10, леса – 0,01–0,02 и парка 0,02–2 т/м²/год. Проведенные оценки выноса седимента с водосборов в водоем в будущем могут охарактеризовать поступление загрязнения от неточечных (диффузных) источников в городе.

6. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-35-60011.

7. Список литературы

1. *Бесперстов, А. С.* Моделирование пластовых месторождений при помощи ГГИС MICROMINE / А. С. Бесперстов // Горная Промышленность. – 2011. – № 5(99). – С. 90.
2. *Валеева, С. Е.* Влияние модели построения нефтенасыщенных толщин на границе литологического замещения продуктивного пласта на геологические запасы нефти / С. Е. Валеева, Ю. М. Арефьев, А. Г. Баранова // Георесурсы. – 2011. – № 4(40).
3. *Гафуров, Ф. Г.* Почвы Свердловской области [текст] / Ф. Г. Гафуров. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. – 396 с.
4. ГОСТ 17.1.5.01-80 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность (с Изменением N 1). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012787>.
5. Пространственно-временная динамика содержания загрязняющих веществ в коммунальных и смешанных сточных водах Барнаула / Е. Ю. Дрюпина, А. Н. Эйрих, С. С. Эйрих, Т. С. Папина // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – № 3–1(83). – С. 182–187.
6. *Лурье, И. К.* Геоинформационное картографирование / И. К. Лурье. – М. : КДУ, 2008.
7. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. – 240 с.
8. Техногенные образования как геологическая формация / С. А. Несмеянов, О. А. Воейкова, А. А. Каздым, В. И. Макаров // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. – № 5. – С. 387–398.

9. Орлов, В. Г. Основы инженерной гидрологии: учеб. пособие. Направление «Экология и природопользование». Специальность «Геоэкология» / В. Г. Орлов, А. В. Сикан. – СПб. : изд. РГГМУ, 2003. – 187 с.
10. Папина, Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем. Transport and Peculiarities of Heavy Metals Distribution in the Row: Water – Suspended Substance – River Ecosystems Sludge: Аналит. обзор / Т. С. Папина // ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. – 2001. – № 62. – 58 с.
11. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 91 с.
12. Сает, Ю. Е. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / Ю. Е. Сает, Л. Н. Алексинская, Е. П. Янин. – М. : ИМГРЭ, 1982. – 74 с.
13. Геохимические характеристики компонентов окружающей среды водосборов и малых водоемов урбанизированной среды / А. А. Селезнев, А. Д. Рянская, Т. Г. Окунева [и др.] // Геология, география и глобальная энергия. – 2022. – № 3(86). – С. 137–156. – DOI 10.54398/20776322_2022_3_137. – EDN HZTFXJ.
14. Устинов, М. Т. Катенография и эколого-мелиоративная оценка почвенного покрова методом трансект-катен / М. Т. Устинов // Сибирский экологический журнал. – 2001. – Т. 8, № 3. – С. 285–291.
15. Шигапов, И. С. Особенности формирования и развития малых озер урбанизированных территорий (на примере города Казани): дисс. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. – Государственный университет по землеустройству, Москва, 2015. – 170 с.
16. Янин, Е. П. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка) / Е. П. Янин. – М. : ВИНТИ, 2013. – 196 с.
17. Quantifying Road dust re-suspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2 / F. Amato, M. Pandolfi, A. Escrig [et al.] // Atmospheric Environment. – 2009. – No. 43. – P. 2770–2780.
18. Estimation of water erosion in abandoned quarries sites using the combination of RUSLE model and geostatistical method / N. Aouichaty, Y. Bouslihim, S. Hilali [et al.] // Scientific African. – 2022. – No. 16. – DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01153.
19. Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension / J. Chen, W. Wang, H. Liu, L. Ren // Environmental Monitoring and Assessment. – 2012. – No. 184. – P. 1693–1709.
20. Linkages between soil erosion and long-term changes of landscape pattern in a small watershed on the Chinese Loess Plateau, / C. Chen, G. Zhao, Y. Zhang [et al.] // CATENA. – 2023. – Vol. 220, Part A. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106659.
21. A dynamic approach to urban road deposited sediment pollution monitoring (Marylebone Road, London, UK) / C. J. Crosby, M. A. Fullen, C. A. Booth, D. E. Searle // J. of Applied Geophysics. – 2014. – No. 105. – P. 10–20.
22. Ging, S. L. Sensitivity Analysis of the Revised Universal Soil Loss Equation's Rainfall Erosivity Factor (R-Factor) / S. L. Ging, K. Kuok // Test Engineering and Management. – 2019. – No. 83. – P. 6809–6815.
23. Development of topographic factor modeling for application in soil erosion models / A. Hoffmann, M. A. da Silva, M. L. N. Silva [et al.] // Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment, InTechOpen Limited London, 2013.
24. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications / K. N. Irvine, M. F. Perrelli, R. Ngoen-klan, I. G. Droppo // Journal of Soils and Sediments. – 2009. – Vol. 9. – P. 328–341.
25. Knijff, J. Soil Erosion Risk Assessment in Italy / J. Knijff, R. Jones, L. Montanarella // European Soil Bureau. – 2002.

26. A stochastic estimation of sediment production in an urban catchment using the USLE model / É. Lisbôa, C. Blanco, R. Maia, L. Bello // *Hydrological Sciences Journal*. – 2017. – No. 62. – DOI: 10.1080/02626667.2017.1395031.
27. *Michalek, A.* Modeling linkages between erosion and connectivity in an urbanizing landscape / A. Michalek, A. Zarnaghsh, A. Husic // *Science of The Total Environment*. – 2021. – No. 764. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144255.
28. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS / H. Mitsova, J. Hofierka, M. Zlocha, L.R. Iverson // *Int. J. Geogr. Inf. Syst.* – 1996. – No. 10(5). – P. 629–641. – DOI: 10.1080/02693799608902101.
29. *Moore, I. D.* Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation / Moore I. D., Wilson J. // *Journal of Soil & Water Conservation*. – 1992. – No. 47. – P. 423–428.
30. Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser / M. Murakami, F. Nakajima, H. Furumai, B. Tomiyasu, M. Owari // *Chemosphere*. – 2007. – No. 67(10). – P. 2000–2010.
31. *Erosion Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation* / S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams // Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment, Station: Temple, TX, USA. – 2000. – P. 625.
32. Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment / P. N. Owens, K. A. Caley, S. Campbell [et al.] // *J. Soils Sediments*. – 2011. – No. 11(6). – P. 1040–1051.
33. *Rango, A.* Aménagement des bassins versants / A. Rango, H. M. J. Arnoldus // *Cahiers techniques de la FAO*. – 1987. – No. 36.
34. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies [et al.] // U. S. Department of Agriculture. – 1997. – No. 703. – P. 404.
35. RUSLE: Revised universal soil loss equation / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, J. I. Porter // *J. of Soil and Water Conservation*. – 1991. – No. 46(1). P. 30–33.
36. *Russell, K. L.* Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds / K. L. Russell, G. J. Vietz, T. D. Fletcher // *Earth Sci. Rev.* – 2017. – No. 168. – P. 73–80.
37. *Seleznev, A. A.* Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // *Environ. Process.* – 2019. – No. 6. – P. 581–595. – DOI: 10.1007/s40710-019-00383-w.
38. Soil erosion risk assessment in an extraction area: Case of abandoned quarries in the Akreuch region (Morocco) / M. Taoufik, I. Loukili, H. EL Hadi, B. Baghdad // *International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo)*. – 2020. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/Morgeo49228.2020.9121910.
39. *Taylor, K. G.* Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities / K. G. Taylor, P. N. Owens // *J. Soils Sediments*. – 2009. – No. 9. – P. 281–303.
40. *Taylor, K.* Urban environments. In *Environmental Sedimentology* / C. Perry, K. Taylor (eds.). – Wiley–Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2007. – P. 190–222.
41. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy / D. Varrica, G. Dongarra, G. Sabatino, F. Monna // *Environmental Geology*. – 2003. – No. 44. – P. 222–230.
42. *Williams, J. R.* The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: a case history / J. R. Williams // *Philos. Trans. Roy. Soc. Lond. Series B: Biol. Sci.* – 1990. – No. 329. – P. 421–428.

43. Wischmeier, W. H. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // U. S. Department of Agriculture. – 1978. – No. 537.
44. Yu, B. Rainfall Erosivity Estimation Using Daily Rainfall Amounts for South Australia / B. Yu, C. J. Rosewell // Australian Journal of Soil Research. – 1996. – No. 34. – P. 721–733. – DOI: 10.1071/SR9960721.
45. An integrated model of soil, hydrology, and vegetation for carbon dynamics in wetland ecosystems / Y. Zhang, C. Li, C. C. Trettin, [et al.] // Global Biogeochemical Cycles. – 2002. – Vol. 16. – No. 4. – P. 1061. – DOI 10.1029/2001GB001838.

Сведения об авторах:

Селезнев Андриан Анатольевич, к. геол.-минер. н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности Института фундаментального образования Уральского федерального университета; старший научный сотрудник лаборатории урбанизированной среды ИПЭ УрО РАН. Эл. почта: sandrian@rambler.ru

Малиновский Георгий Петрович, к. биол. н., заместитель директора по научной работе ИПЭ УрО РАН. Эл. почта: georgy@esko.uran.ru,

Шевченко Андрей Викторович, аспирант Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, инженер-исследователь лаборатории урбанизированной среды ИПЭ УрО РАН. Эл. почта: av.shev98@gmail.com

Глухов Виталий Сергеевич, аспирант Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. Эл. почта: sativ999@gmail.com

ASSESSMENT OF THE SEDIMENT SUPPLY FROM THE CATCHMENT INTO A WATER BODY IN AN URBAN AREA

A. A. Seleznev ^{1,2}, A. V. Shevchenko ^{1,2}, V. S. Gluhov ¹, G. P. Malinovsky ²

¹ Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

² Institute of Industrial Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

An assessment was made for surface sediment supply from the catchment into a water body located in an urban area. The study was carried out on the example of Ekaterinburg (Russia). Two shallow, undrained small water bodies were selected in the city: Chemodanchik and water body in Kharitonovsky Garden. The water bodies are located in different parts of the city, are of anthropogenic origin, and have a recreational function. Field survey and cartographic analysis of watershed territories, determination of bathymetric and morphometric parameters of water bodies, sampling of bottom sediment columns were carried out. The assessment of total amount of the bottom sediments in water bodies was carried out using three-dimensional triangulation model. The RUSLE model was used to estimate the sediment transport from the catchment. The parameters of the RUSLE model were calculated on the basis of the known total amount of bottom sediments (for Chemodanchik 953 t, Kharitonovsky Garden 967 t with the average thickness of bottom sediments in the reservoirs 49 and 31 cm, respectively). The resulting estimates of sedimentation rates in the catchments were as follows: for the Chemodanchik reservoir in the recreation area 0.4 – 3.7, in the forest area 0.001 – 0.4 t/m²/year, for the Kharitonovsky garden 0.3 – 10, in the forest area 0.01 – 0.02, and in the park 0.02 – 2 t/m²/year.

Key words: urban environment; catena; sediment; erosion; bottom sediments; deposition; RUSLE; waterbody.

References

1. *Besperstov, A. S.* Modeling of reservoir deposits with the help of MICROMINE MGIS / A. S. Besperstov // Mining Industry. – 2011. – № 5(99). – P. 90. – EDN ONKGQF.
2. *Valeeva, S. E.* Influence of the model of oil-saturated thicknesses on the boundary of lithological substitution of productive formation on geological reserves of oil / S. E. Valeeva, Y. M. Arefiev, A. G. Baranova // Georesources. – 2011. – № 4(40).
3. *Gafurov F. G.* Soils of Sverdlovsk Oblast [text] / F. G. Gafurov. – Ekaterinburg : Urals University Publishing House, 2008. – 396 p.
4. GOST 17.1.5.01–80 Nature Conservation (SSNP). Hydrosphere. General requirements for sampling bottom sediments from water bodies for pollution analysis (as amended N 1), – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012787>.
5. Spatial and temporal dynamics of the content of pollutants in municipal and mixed wastewater in Barnaul / E. Y. Drupina, A. N. Eirikh, S. S. Eirikh, T. S. Papina // Proceedings of Altai State University. – 2014. – № 3(83). – P. 182–187.
6. *Lurie, I. K.* Geoinformation mapping / I. K. Lurie. – M. : BHU, 2008.
7. Methods of studying biogeocenoses of inland water bodies. M. : Science, 1975. – 240 p.
8. Technogenic formations as a geological formation / S. A. Nesmeyanov, O. A. Voyeikova, A. A. Kazdym, V. I. Makarov // Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology. – 2009. – № 5. – P. 387–398.
9. *Orlov, V. G.* Fundamentals of engineering hydrology. Tutorial. Ecology and Nature Management. Specialty "Geoecology" / V. G. Orlov, A. V. Sikan // Saint–Petersburg: publishing house of Russian State Hydrometeorological University, 2003. – 187 p.
10. *Papina, T. S.* Transport and peculiarities of heavy metals distribution in the row: water – suspended substance – river ecosystems sludge: analytical review / T. S. Papina // SPSTL SB RAS; IWEP SB RAS. – 2001. – № 62. – 58 p.
11. Guidelines for Determination of Hydrographic Characteristics by Cartometric Method L. : Gidrometeoizdat, 1986. – 91 p.
12. *Sait, Y. E.* Methodical recommendations on geochemical assessment of pollution of surface watercourses with chemical elements / Y. E. Sait, L. N. Aleksinskaya, E. P. Yanin. M. : IMGCRE, 1982. – 74 p.
13. *Seleznev, A.A.* Geochemical characteristics of environmental components of catchments and small water bodies of urbanized environment / A. A. Seleznev, A. D. Ryanskaya, T. G. Okuneva [et al.] // Geology, Geography and Global Energy. – 2022. – № 3(86). – P. 137–156. – DOI 10.54398/20776322_2022_3_137. – EDN HZTFXJ.
14. *Ustinov, M. T.* Catenography and ecological–meliorative assessment of the soil cover by the transect catenary method / M. T. Ustinov // Siberian Ecological Journal. – 2001. – Vol. 8, № 3. – P. 285–291.
15. *Shigapov I. S.* Features of formation and development of small lakes in urbanized areas (on the example of the city of Kazan): diss. Candidate of Geographical Sciences: 25.00.36. – State University of Land Management, Moscow, 2015. – 170 p.
16. *Yanin, E. P.* Technogenic river silt (material composition, geochemical features, environmental assessment) / E. P. Yanin // Moscow: RISTI, 2013. – 196 p.
17. Quantifying Road dust re-suspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2 / F. Amato, M. Pandolfi, A. Escrig, [et al.] // Atmospheric Environment. – 2009. – No. 43. – P. 2770–2780.
18. Estimation of water erosion in abandoned quarries sites using the combination of RUSLE model and geostatistical method / N. Aouichaty, Y. Bouslihim, S. Hilali, [et al.] // Scientific African. – 2022. – No. 16. – DOI: 10.1016/j.sciaf.2022.e01153.
19. Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension / J. Chen, W. Wang, H. Liu, L. Ren // Environmental Monitoring and Assessment. – 2012. – No. 184. – P. 1693–1709.

20. Linkages between soil erosion and long-term changes of landscape pattern in a small watershed on the Chinese Loess Plateau, / C. Chen, G. Zhao, Y. Zhang [et al.] // CATENA. – 2023. – Vol. 220, Part A. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106659.
21. A dynamic approach to urban road deposited sediment pollution monitoring (Marylebone Road, London, UK) / C. J. Crosby, M. A. Fullen, C. A. Booth, D. E. Searle // J. of Applied Geophysics. – 2014. – No. 105. – P. 10–20.
22. *Ging, S. L.* Sensitivity Analysis of the Revised Universal Soil Loss Equation's Rainfall Erosivity Factor (R-Factor) / S. L. Ging, K. Kuok // Test Engineering and Management. – 2019. – No. 83. – P. 6809–6815.
23. Development of topographic factor modeling for application in soil erosion models / A. Hoffmann, M. A. da Silva, M. L. N. Silva [et al.] // Soil Processes and Current Trends in Quality Assessment, InTechOpen Limited London, 2013.
24. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications / K. N. Irvine, M. F. Perrelli, R. Ngoen-klan, I. G. Droppo // J. of Soils and Sediments. – 2009. – Vol. 9. – P. 328–341.
25. *Knijff, J.* Soil Erosion Risk Assessment in Italy / J. Knijff, R. Jones, L. Montanarella // European Soil Bureau. – 2002.
26. A stochastic estimation of sediment production in an urban catchment using the USLE model / É. Lisbôa, C. Blanco, R. Maia, L. Bello // Hydrological Sciences Journal. – 2017. – No. 62. – DOI: 10.1080/02626667.2017.1395031.
27. *Michalek, A.* Modeling linkages between erosion and connectivity in an urbanizing landscape / A. Michalek, A. Zarnaghsh, A. Husic // Science of The Total Environment. – 2021. – No. 764. – DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.144255.
28. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS / H. Mitasova, J. Hofierka, M. Zlocha, L.R. Iverson // Int. J. Geogr. Inf. Syst. – 1996. – No. 10(5). – P. 629–641. – DOI: 10.1080/02693799608902101.
29. *Moore, I. D.* Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation / Moore I. D., Wilson J. // Journal of Soil & Water Conservation. – 1992. – No. 47. – P. 423–428.
30. Identification of particles containing chromium and lead in road dust and soakaway sediment by electron probe microanalyser / M. Murakami, F. Nakajima, H. Furumai, [et al.] // Chemosphere. – 2007. – No. 67(10). – P. 2000–2010.
31. Erosion Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation / S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams // Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment, Station: Temple, TX, USA, 2000. – P. 625.
32. Total and size-fractionated mass of road-deposited sediment in the city of Prince George, British Columbia, Canada: implications for air and water quality in an urban environment / P. N. Owens, K. A. Caley, S. Campbell, [et al.] // J. Soils Sediments. – 2011. – No. 11(6). – P. 1040–1051.
33. *Rango, A.* Aménagement des bassins versants / A. Rango, H. M. J. Arnoldus // Cahiers techniques de la FAO. – 1987. – No. 36.
34. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, [et al.] // U. S. Department of Agriculture. – 1997. – No. 703. – P. 404.
35. RUSLE: Revised universal soil loss equation / K. G. Renard, G. R. Foster, G. A. Weesies, J. I. Porter // J. of Soil and Water Conservation. – 1991. – No. 46(1). P. 30–33.
36. *Russell, K. L.* Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds / K. L. Russell, G. J. Vietz, T. D. Fletcher // Earth Sci. Rev. – 2017. – No. 168. – P. 73–80.
37. *Seleznev, A. A.* Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko,

- G. P. Malinovsky // Environ. Process. – 2019. – No. 6. – P. 581–595. – DOI: 10.1007/s40710-019-00383-w.
38. Soil erosion risk assessment in an extraction area: Case of abandoned quarries in the Akreuch region (Morocco) / M. Taoufik, I. Loukili, H. EL Hadi, B. Baghdad // International conference of Moroccan Geomatics (Morgeo). – 2020. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/Morgeo49228.2020.9121910.
39. Taylor, K. G. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities / K. G. Taylor, P. N. Owens // J. Soils Sediments. – 2009. – No. 9. – P. 281–303.
40. Taylor, K. Urban environments. In Environmental Sedimentology / C. Perry, K. Taylor (eds.). – Wiley–Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 2007. – P. 190–222.
41. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy / D. Varrica, G. Dongarra, G. Sabatino, F. Monna // Environmental Geology. – 2003. – No. 44. – P. 222 – 230.
42. Williams, J. R. The erosion-productivity impact calculator (EPIC) model: a case history / J. R. Williams // Philos. Trans. Roy. Soc. Lond. Series B: Biol. Sci. – 1990. – No. 329. – P. 421 – 428.
43. Wischmeier, W. H. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning / W. H. Wischmeier, D. D. Smith // U. S. Department of Agriculture. – 1978. – No. 537.
44. Yu, B. Rainfall Erosivity Estimation Using Daily Rainfall Amounts for South Australia / B. Yu, C. J. Rosewell // Australian Journal of Soil Research. – 1996. – No. 34. – P. 721–733. – DOI: 10.1071/SR9960721.
45. An integrated model of soil, hydrology, and vegetation for carbon dynamics in wetland ecosystems / Y. Zhang, C. Li, C. C. Trettin, H. Li, G. Sun // Global Biogeochemical Cycles. – 2002. – Vol. 16. – No. 4. – P. 1061. – DOI:10.1029/2001GB001838.