

10. Николаевская, И.А. Благоустройство территорий / И.А. Николаевская. – М.: Академия, 2006. – 272 с.

11. Тохтарь, В.К. Использование садовой терапии в туристско-экскурсионной деятельности ботанического сада НИУ «БелГУ» / В.К. Тохтарь, В.И. Чернявских, Е.В. Думачева, С.Н. Ясенюк, А.А. Польшина // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 347.

12. Чернявских, В.И. Многовидовые фитоценозы и продуктивность эродированных почв в агроландшафтах Центрального Черноземья / В.И. Чернявских, О.Г. Котлярова. – Белгород: ПОЛИТЕРРА, 2010. – 194 с.

13. Чернявских, В.И. Растительный мир Белгородской области / В.И. Чернявских, О.В. Дегтярь, А.В. Дегтярь, Е.В. Думачева. – Белгород: Белгородская областная типография, 2010. – 473 с.

ПРОЦЕССЫ ЗАИЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ РЕК В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Я.В. Павлюк,

*м.н.с. отдела геоинформатики ФРЦ
мониторинга
НИУ «БелГУ», кандидат географических наук*



М.Е. Родионова,

*м.н.с. отдела геоинформатики ФРЦ
мониторинга
НИУ «БелГУ», кандидат географических наук*



Ю.В. Юдина,

*ст. преподаватель кафедры географии,
геоэкологии и безопасности
жизнедеятельности ФГДиП
НИУ «БелГУ»*



М.А. Голиков,

*студент 1 курса направления подготовки
05.03.06 «Экология и природопользование»
ФГДиП НИУ «БелГУ»*



В статье проанализировано состояние р. Везёлка и той части ее русла, которая находится в городской черте Белгорода и значительно преобразована антропогенной деятельностью. Дана оценка изменения расходов воды в реке после антропогенного преобразования ее русла. Проведено моделирование процессов заиления городской реки при разных показателях водности года на основе расчета соотношения стока речных наносов и транспортирующей способности водотока. Получен прогноз риска заиления реки на 2020 год. Для подтверждения результатов моделирования проведены исследования морфологических характеристик русла реки. Построены трехмерные модели русла в участках искусственного расширения.

Ключевые слова: городские реки, антропогенные трансформации русла, взвешенные наносы, заиливание малых рек, транспортирующая способность.

PROCESSES OF URBANIZATION OF URBAN RIVERS IN CONDITIONS OF INCREASED ANTHROPOGENIC LOAD

- I. Pavlyuk,** *Junior researcher of the Department of geoinformatics FRC of monitoring NIU "BelGU", candidate of geographical sciences*
- M. Rodionova,** *Junior researcher of the Department of geoinformatics FRC of monitoring NIU "BelGU", candidate of geographical sciences*
- Y. Yudina,** *art. Teacher of the Department of Geography, Geoecology and Life Safety of FGDIP National University of BelSU*
- M. Golikov,** *student 1 course of training 05.03.06 Ecology and Nature Management FGDIP National University of BelSU*

The article analyzes the condition of the river Vezelka and that part of its riverbed that is located in the city of Belgorod and is significantly transformed by anthropogenic activity. The estimation of the change in water flow in the river after the anthropogenic transformation. Modeling of the silt processes of the city river at different indicators of the water content of the year is carried out based on the calculation of the ratio of the river sediment discharge and the sediment transport capacity of the watercourse. The forecast of the risk of siltation of the river for 2020 is obtained. To confirm the results of the simulation, studies of the morphological characteristics of the river bed were carried out. Three-dimensional channel models have been constructed in the areas of artificial expansion.

Keywords: urban rivers, anthropogenic river bed changes, sediment load siltation of small rivers, sediment transporting capacity.

Везёлка – главная городская река г. Белгорода, на ее водосбор приходится 55% площади областного центра. Из общей длины реки – 27,4 км – в границах города находится 10-километровый участок низовья (9,75 км). На этот участок приходится два главных водозабора Белгорода. Река находится в условиях высокой антропогенной нагрузки.

Самым крупным притоком р. Везёлка является р. Гостёнка, впадающая в нее уже в городе. Поэтому до второй половины XIX века именно в черте города р. Везёлка делалась особенно полноводной. Поскольку основу питания обеих рек составляют осадки, в половодье Везёлка нередко подтопляла ближайшие к ней улицы города.

К 2003 г. по берегам Везёлки был построен студенческий городок Белгородского государственного университета. Университетский комплекс стал визитной карточкой Белгорода. Набережная «БелГУ» представляет собой оборудованную пешеходную зону. При строительстве университетского комплекса берега Везёлки были забетонированы. Завершающим этапом стало строительство на реке подводного музыкального фонтана.

Русло реки в городской черте претерпело сильные изменения в результате работ по его расширению и углублению дна. В 1980-1982 гг. и 1999-2005 гг. проводили углубление и расширение русла (с 3-5 м до 37-45 м) на протяжении 2,5 км, используя земснаряд на локальных участках. В 2000 г. проведено расширение и дноуглубление русла реки (до 2,4-2,5 м) на участке расширения длиной 255 м. В настоящее время на протяжении более 4 км русло Везёлки представлено каскадом техногенных водоемов, существенно замедляющих водообмен в реке и отчасти выполняющих функцию по очистке городских стоков (ливневых и несанкционированных канализационных). Прибрежная зона реки активно используется горожанами для рекреации, что вследствие низкой культуры отдыха приводит к ее

захламлению бытовым мусором. В связи с низким расходом воды в реке значительная часть взвешенных частиц оседает на дне, происходит быстрое заиливание русла. Активные строительные работы в прибрежной защитной зоне реки, распашка поймы, наличие множества механических барьеров усиливают этот процесс. Расчистка и углубление дна часто не приносят положительного эффекта вследствие уничтожения бентосного сообщества и потери стока с инфильтрацией в породы.

На отдельных участках русла в черте города в летнее время Везёлка мелеет настолько, что превращается в маленький ручеек. Анализ формирования водного режима реки показал, что его можно разделить на два этапа (рис. 1): природное колебание стока реки (1947-1980 гг.) и стабильное снижение расхода воды (1981-2010 гг.). Максимальный расход воды в реке Везёлка за весь период составил 2,18 м³/с (1981 г.).

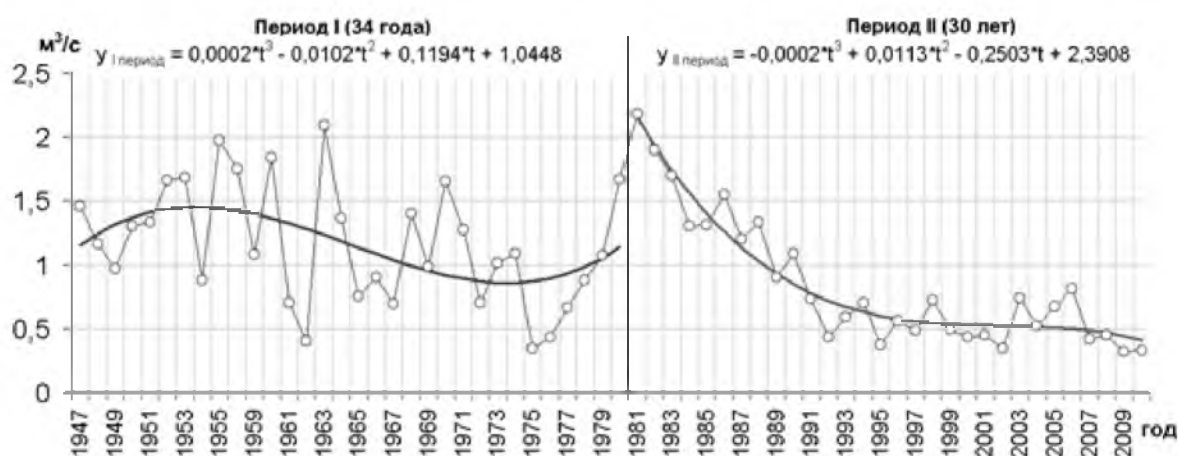


Рис. 1. Изменение расхода воды в реке Везёлка за период 1947-2010 гг.

Резкое снижение расходов во втором периоде объясняется сильным антропогенным преобразованием русла Везёлки. По сравнению с периодом 1947-1980 гг., когда в среднем расход воды составлял 1,19 м³/с, он уменьшился на 0,40 м³/с (т.е. на 34%). Расход речного стока 50%-процентной обеспеченности оценивается для этой реки в 1,25 м³/с, для среднего маловодного года он составляет 0,91 м³/с, а для маловодного года – 0,48 м³/с [5, 7].

Для оценки заиления русла реки Везёлка нами была рассчитана транспортирующая способность реки. Авторами использована формула Е.М. Замарина [4], которая была калибрована по данным о транспортирующей способности потоков с обычными для малых рек наносами (алевритовыми и мелкопесчаными) [1, 2]:

$$R = 0,022Q \left(\frac{U}{\omega} \right)^{1,5} \times \sqrt{HI}, \quad (1)$$

где R – транспортирующая способность потока, кг/с;

Q – расход воды, м³/с;

U – скорость течения, м/с;

ω – гидравлическая крупность, формула справедлива в диапазоне 0,002-0,008 м/с;

H – глубина потока, м;

I – уклон, м/км.

Путем преобразований (1) на основании гидролого-морфометрических зависимостей для рек длиной >10 км, полученных Нежиховским [6], нами была выведена следующая формула для расчета транспортирующей способности потока:

$$R = \frac{0,001188 Q^{1,485}}{40,74 \omega^{1,5} F^{0,175}}, \quad (2)$$

где F – площадь водосбора реки, км².

На основе полученных формул нами была рассчитана транспортирующая способность реки Везёлка. Изменчивость стока наносов исследуемых рек в 2 раза превышает изменчивость стока воды. Для моделирования процессов заиления водотока нами были проведены расчеты транспортирующей способности реки для самого маловодного года (1975 г.), для наиболее многоводного года (1981 г.), для нормы стока, на период оценки смыва почв (2010 г. – средний по водности год). Прогнозирование динамики стока рек Белгородской области, включая Везёлку, до 2020 г. выполнено с помощью нейронных сетей [8]. Полученные данные использованы для прогнозирования заиления реки в 2020 г. – маловодном году, как наиболее интересном периоде для оценки риска заиления (из-за его маловодности) (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры для расчета транспортирующей способности малой реки Везёлка (F в км², Q в м/с, R в кг/с)*

F	Q ₁	R ₁	Q ₂	R ₂	Q ₃	R ₃	Q ₄	R ₄	Q ₅	R ₅
394	0,34	0,02	2,18	0,36	1,00	0,11	0,33	0,02	0,18	0,01

*Индексы у Q и R: 1 – маловодный год; 2 – многоводный год; 3 – норма стока; 4 – 2010 г.; 5 – 2020 г. (прогноз).

Представлены результаты расчетов при ω = 0,002 м/с. Для более крупных наносов транспортирующая способность реки меньше полученной и не представляет интереса для расчетов.

Для дальнейшей интерпретации результатов расход наносов был переведен в модуль стока наносов (M, т/год с км²). Полученные результаты (табл. 2) показали, что модуль стока наносов малых рек (M) в многоводный год превышает величину маловодного года в среднем в 6 раз.

Таблица 2

Модуль стока наносов малой реки Везёлка (M, т/год с км²)*

M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅
1,85	29,17	9,17	1,77	0,72

*Индексы у M: 1 – маловодный год; 2 – многоводный год; 3 – норма стока; 4 – 2010 г.; 5 – 2020 г. (прогноз).

Расчет отношения транспортирующей способности малой реки в створе к стоку наносов, который поступает в реку со склонов бассейна, является критерием уязвимости рек по отношению к заилению в условиях антропогенной нагрузки и ускоренной эрозии на водосборах.

Голосовым В.Н. [3] получена эмпирическая связь коэффициента доставки наносов (D_{ri}) и площади водосбора (F):

$$D_{ri} = 0,65 \cdot F^{-0,27} . \quad (3)$$

Авторами определен сток наносов в замыкающем створе реки путем расчета величины смыва почвы по бассейну с помощью ГИС-технологий и ДДЗ [8] и коэффициента доставки наносов (3). Сток влекомых наносов не учитывали из-за отсутствия систематических наблюдений на большинстве гидрологических постов.

Критерием уязвимости малых рек по отношению к заилению в условиях антропогенной нагрузки и ускоренной эрозии на водосборах является их относительная транспортирующая способность (ОТС) – отношение транспортирующей способности реки в данном створе к стоку наносов, поступающему в реку со всего водосбора. По ОТС можно определить направленность и интенсивность развития продольного профиля русла реки. При $ОТС > 1$ происходит углубление русла и очищение реки от наносов. Такие участки реки устойчивы по отношению к заилению, и степень устойчивости тем больше, чем больше ОТС. При $ОТС < 1$, происходит аккумуляция наносов в реке, повышение уровня поймы, заиление русла. Результаты расчета ОТС представлено в таблице. 3.

Таблица 3

Оценка заиления малой реки Везёлка на основе относительной транспортирующей способности водотоков*

Dr	Wd	M ₁ *	ОТС ₁	M ₂	ОТС ₂	M ₃	ОТС ₃	M ₄	ОТС ₄	M ₅	ОТС ₅
0,04	40,59	1,85	0,05	29,17	0,72	9,17	0,23	1,77	0,04	0,72	0,02

*Индексы у M и ОТС: 1 – маловодный год; 2 – многоводный год; 3 – норма стока; 4 – 2010 г.; 5 – 2020 г. (прогноз).

Анализ полученных результатов показал, в бассейне Везёлки складывается неблагоприятная картина, где сток наносов в замыкающем створе во много раз превышает транспортирующую способность реки при разных вариантах водности. Даже в наиболее многоводные годы река Везёлка продолжает заиливаться. Полученный прогноз расходов воды в 2020 году также позволяет предсказывать преобладание процессов заиления.

Накопление наносов – перманентный процесс, и он должен контролироваться путем проведения обследований рельефа дна и мощности отложений. Нами проведены исследования морфологических характеристик русла реки. По результатам работы была построена трехмерная модель русла реки на участке искусственного расширения. Промеры глубин производили шестом, координатную привязку точек промеров – с помощью цифрового тахеометра Topcon. Данные промеров глубин использовали для построения цифровых моделей рельефа дна водоемов с помощью программ *Terramodel 10.1* и *Surfer 8.0*. Интерполяцию данных проводили методом триангуляции (рис. 2).

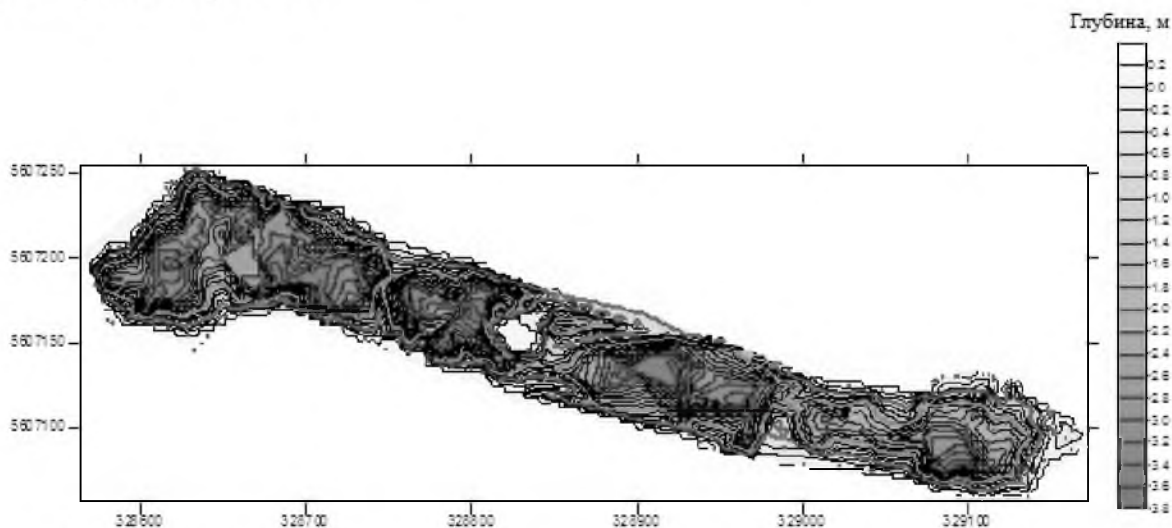


Рис. 2. Карта глубин участка расширения русла р. Везёлка в городском парке

Карта дала следующее описание дна реки Везёлки на участке расширения русла в городском парке.

Площадь водного зеркала исследуемого участка составляет 39 935 м². Объем воды (в меженный период) – 63 861 м³. Средняя глубина – 1,4 м. Максимальная ширина русла реки на данном участке 96 м (в районе зоопарка).

Участок реки можно разделить на две условные области, граница которых проходит по пешеходному мосту через реку. Первая область подразделяется на западный (выше по течению) участок с ровным дном и равномерным переходом донных слоев, отмель, соединяющую два берега реки и тянущуюся примерно через середину области, и, опять же, глубинный участок у моста. Вторая область имеет в своем составе глубокий участок

реки у моста, отмель и ровный участок с островом в восточной части области. Области разделяет островная отмель, образованная работой земснаряда по обе стороны от моста. Она имеет высоту около 10 см над поверхностью воды, заросла тростником и служит механическим барьером, на котором осаждаются наносы, и происходит накопление бытового мусора. Остров направил русло ближе к южному берегу Везёлки, где глубина составляет от 60 см до 1,5 м. Со временем остров будет увеличиваться, так как происходит сильное накопление ила, отложений и мусора.

На всем протяжении первой области можно заметить влияние земснаряда, который, очищая реку от ила и отложений, образование воронок. В западной части первой области расположена котловина, находящаяся в районе бывшего зоопарка, глубина в некоторых участках составляет 4 м. С юго-восточной части этого участка начинает образовываться отмель. Далее западная часть первого участка имеет ровный характер (глубина русла составляет 3-3,5 м) до образования отмели. Происхождение отмели можно объяснить, исходя из сильной загрязненности реки промышленным мусором (бетонные плиты, трубы), из-за которого здесь не смог продолжить работу земснаряд, а впоследствии образовавшиеся по обе стороны от отмели круговороты сносили отложения на образованную отмель. Глубина в данной области составляет от 30 до 90 см. После окончания отмели продолжается ровный участок реки с измененным земснарядом руслом до островной отмели. Глубина колеблется от 1 м у берегов до 3 м в русле реки.

В западной части второй области русло углублено, дно равномерное, глубина составляет от 1,7 м до 3,5 м. Ниже по течению реку пересекает обширная отмель, образование которой связано как с наличием труб дождевого стока с южной и северной стороны реки, так и с промышленным мусором, помешавшим работе земснаряда. Отмель имеет площадную структуру и тянется практически до самого моста, перед которым по руслу реки находится котловина глубиной до 3,5 м. В восточной части 2 области начинает образовываться остров с северного берега реки. Причиной формирования острова является крупный ливневый сток. Ближе к мосту река мельчает (глубина 30-50 см) и засорена строительным мусором. Водообмен в данном водоеме происходит за 30 ч. Зона активного накопления наносов составляет 54,4% поверхности дна.

Анализ трехмерных моделей показывает, что отдельные участки реки имеют сложный рисунок морфологии дна, что обусловлено современным осадконакоплением в этих водоемах. В отдельных частях их русел идет формирование островов, некоторые из которых могут в процессе дальнейшего расширения полностью перекрыть русло реки.

Таким образом, без принятия специальных мер по обустройству водоохраной зоны и специальной регламентации землепользования на водосборной площади, заилиение техногенных водоемов в искусственных

расширениях русла будет неизбежно приводить к необходимости их повторной очистки средствами гидромеханизации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16–35–00226 мол_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беркович, К.М. Устойчивость русел рек Европейской России и её оценка в связи с антропогенными нагрузками на реки и их бассейн / К.М. Беркович, А.Ю. Сидорчук // Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия. – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1996. – С. 77-87.
2. Бутаков, Г.П. Малые реки как наиболее уязвимое звено речной сети / Г.П. Бутаков, А.Н. Дедков, А.Н. Кичигин и др. // Эрозионные и русловые процессы: – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1996. – Вып. 2. – С. 56-70.
3. Голосов, В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин / В.Н. Голосов. – М.: ГЕОС, 2006. – 296 с.
4. Замарин, Е.А. Транспортирующая способность и допускаемые скорости течения в каналах / Е.А. Замарин. – Л.: Гострансиздат, 1951. – 82 с.
5. Лисецкий, Ф.Н. Экологические исследования бассейнов малых рек Белгородской области (на примере р. Болховец) // Эколога-географические исследования в речных бассейнах: материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГПУ, 2001. – С. 171-173.
6. Нежиховский, Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока вод: методические основы и практика прогнозов паводочного стока рек / Р.А. Нежиховский. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 476 с.
7. Павлюк, Я.В. Использование нейротехнологий для моделирования временных процессов формирования водности рек / Я.В. Павлюк, Э.А. Терехин, В.И. Пичура // Эрозионные и русловые процессы и современные методы их исследования. – Белгород: ЛитКараВан, 2014. – С. 141-148.
8. Lisetskii, F.N. Basin organization of nature management for solving hydroecological problems / F.N. Lisetskii, Y. V. Pavlyuk, Zh.A. Kirilenko // Russian Meteorology and Hydrology. – 2014. – Vol. 39. – № 8. – P. 550-557.
9. Marinina, O.A. Evaluation of Siltation of Rivers with Intensive Economic Development of Watersheds / O.A. Marinina, O.P. Yermolaev, K.A. Maltsev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – 11 3004-3013. – Access mode: <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2016.3004.3013>.