



УДК 504.4.054

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭРОЗИОННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК АГРОЛАНДШАФТОВ**
**ANALYSIS OF THE IMPACT OF EROSION AND HYDROLOGICAL PROCESSES
ON THE HYDROCHEMICAL REGIME OF CULTIVATED LAND RIVERS**

Ю.А. Соловьева¹, М.В. Кумани², Я.В. Павлюк³, Ж.А. Буряк³
Yu.A. Solov'eva¹, M.V. Kumani², Ya.V. Pavlyuk³, Zh.A. Buryak³

¹ ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, Россия, 305021, г. Курск, ул. К. Маркса, 70-б

² Курский государственный университет, Россия, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85

¹ SSI All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control, 70b K. Marks St, Kursk, 305021, Russia

² Kursk State University, 33 Radischev st, Kursk, 305000, Russia

³ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St, 85, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: iuliana.solovieva@yandex.ru

Ключевые слова: речной бассейн, малый водосбор, эрозионно-гидрологические процессы, фоновые концентрации, биогенные вещества, органические вещества.

Key words: river basin, small catchment, erosion and hydrological processes, background concentrations, nutrients, organic matter.

Аннотация. Наблюдаются высокие концентрации органических и биогенных веществ в малых и средних реках при отсутствии точечных источников их сбросов. Это указывает на наличие диффузного загрязнения рек в результате эрозионно-гидрологических процессов на хозяйственно освоенных водосборах. В работе показано, что многолетние изменения показателей сельскохозяйственного производства влияют на динамику концентраций биогенных веществ в реках, водосборные территории которых занимают преимущественно агроландшафты. В результате моделирования выноса биогенных веществ в составе наносов с помощью ГИС-технологий рассчитано, что в период снеготаяния с малого водосбора площадью 551.5 га в реку Чернь поступает в среднем 1.36 кг валовых форм азота и 46.5 кг подвижных форм фосфора. Поступление биогенных веществ от диффузных источников в значительной степени определяет гидрохимический режим реки Чернь вне зоны влияния Михайловского ГОКа.

Resume. As a result of hydrochemical monitoring data analysis it was founded, that many minor and mid-size rivers of Central Chernozem Region had high concentrations of organic and biogenic substances in the absence of point sources of their discharge. This indicates the presence of rivers non-point pollution as a result of erosion and hydrological processes in cultivated land catchments. The investigation shows that long-term changes of agricultural production indicators have an impact on the dynamics of the nutrients concentrations in the rivers, the catchments of which are cultivated lands.

As a result of nutrients removal simulation in the sediment composition using GIS-technologies it is calculated that during the snowmelt period from the small catchment area of 551.5 hectare (ha) the Chern river receives on the average of 1.36 kg of total nitrogen and 46.5 kg of labile phosphorus. The incoming of nutrients from non-point sources largely determines the Chern river hydrochemical regime upstream the Mikhailovsky mineral processing plant.

Detailed monitoring in mid-sized and minor rivers and catchments to assess chemical substances distribution in cultivated lands and water objects is essential. As non-point pollution sources have a negative impact from the sources of the rivers, the determination of background concentrations of organic and biogenic substances in surface waters becomes practically impossible.

Введение

Характер и степень загрязнения водных объектов – это отражение вида и интенсивности хозяйственной деятельности на водосборной территории [Райнин, Виноградова, 2002; Коронкевич и др., 2003; Кумани, 2004], так как река и ее бассейн – это единая система, транспорт веществ в которой наиболее активно осуществляется водными потоками.

Водосборные площади рек Центрально-Черноземных областей – территориальная база для развития агропромышленного комплекса. Значительную долю речных бассейнов здесь занимают агроландшафты, круговорот и баланс веществ в которых существенно изменен по сравнению с природными ландшафтами. Это привело, в частности, к перераспределению биогенных и органических веществ в результате эрозионно-гидрологических процессов, активно развивающихся на сельскохозяйственных угодьях речных бассейнов. Органические и биогенные вещества, обеспечивающие почвенное плодородие, попадают с поверхностным стоком в



водные объекты, меняют свою экологическую функцию и становятся загрязнителями. Особенность почвенно-эрозионного загрязнения заключается в том, что его источники – диффузные, рассредоточенные по всему водосбору, которые, в отличие от точечных, не подвергаются предусмотренному экологическим законодательством мониторингу. Поэтому большую сложность составляет точная количественная оценка доли вклада диффузных источников в загрязнение поверхностных вод [Хрисанов, Осипов, 1993; Алексеевский и др., 2000].

Цель данной работы – проанализировать влияние выноса органических и биогенных веществ в результате эрозионно-гидрологических процессов на гидрохимический режим рек агроландшафтов.

Объекты и методы исследования

Выбор объектов исследования обусловлен тем положением, что наиболее подвержены любому загрязнению малые и средние реки в силу их небольшой водности и низкой способности к самоочищению [Алексеевский и др., 2000; Соловьева, Кумани, 2013]. Особенность малых и средних рек – тесная зависимость качества воды от состояния водосборной территории, что обуславливает их значительную уязвимость при интенсивном хозяйственном освоении водосбора.

В работе использованы данные ежемесячного гидрохимического мониторинга в створах средних (по ГОСТ 17.1.1.02–77) рек (площади водосборов составляют 1020, 220 и 140 км² соответственно) за период наблюдений с 2004 по 2008 гг. Так же использованы материалы гидрохимического мониторинга за период с 1990 по 2009 гг. на реке Псел в пункте наблюдений село Горналь (Курская область). Длина реки Псел до створа у села Горналь составляет 200 км, площадь водосбора – 6400 км². Выше рассматриваемых створов на водосборной территории изучаемых рек располагаются преимущественно агроландшафты (60–80% территории), влияния точечных сбросов с промышленных предприятий и поверхностного стока с урбанизированных территорий не наблюдается.

При изучении влияния диффузных источников на качество поверхностного стока необходима количественная оценка поступления биогенных веществ в реки агроландшафтов с водосборов различных порядков [Кумани, Лисецкий, 2011]. Поэтому для количественной оценки среднемноголетнего выноса биогенных веществ с сельхозугодий в верхних звеньях гидрографической сети, нами был использован элементарный ключевой водосбор, расположенный в бассейне р. Чернь на территории Железнодорожного района Курской области. На этом участке р. Чернь и ее водосборная территория еще не испытывают воздействия Михайловского ГОКа, значительную долю площади водосбора занимают сельскохозяйственные угодья. Для этого водосбора было использовано моделирование выноса биогенных веществ с помощью ГИС-технологий.

Результаты и их обсуждение

Для оценки гидрохимического режима рек, складывающегося под влиянием поверхностного стока и выноса эрозионного материала с сельхозугодий, имеет смысл рассмотреть концентрации органических и биогенных веществ в створах, где осуществляется детальный мониторинг (таблица). Нами проанализированы концентрации биогенных веществ (форм азота: нитратной NO₃, нитритной NO₂, аммонийной NH₄ и фосфатов P₂O₅) и показатели биохимического потребления кислорода (БПК) в реках Реут, Чернь и Речица. Показатель БПК характеризует суммарное содержание в воде органического вещества; это количество кислорода, требуемое для окисления находящихся в воде органических веществ за определенный промежуток времени – 5 или 10 суток [Никаноров, 2001] (в таблице – БПК₅ и БПК_{полн.} соответственно).

Из данных таблицы видно, что средние за пятилетний период наблюдений значения БПК, а также концентрации аммонийного азота и отчасти нитритов (Реут, Чернь) превышают ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения в рассматриваемых реках. Приведенные в таблице вещества и показатели имеют четкую динамику в изучаемых реках, характеризующуюся значительным варьированием концентраций по гидрологическим сезонам года [Кумани и др., 2011; Соловьева, Кумани, 2013]. Примером тому могут служить максимальные концентрации веществ, в 1.5–34 раза превышающие ПДК и в 2.5–15 раз средние значения. Сезонная динамика связана не только с поступлением веществ с поверхностным стоком и эрозионным материалом во время снеготаяния и дождевых осадков, но и с внутриводоемными биохимическими процессами [Соловьева, Кумани, 2013]. Однако именно изначальное поступление органики и биогенов в водные объекты в результате эрозионно-гидрологических процессов на водосборной территории и их накопление в реках вызывают интенсивный прирост биомассы в водной толще, отмирание которой приводит к вторичному загрязнению.



Таблица
Table

Концентрации биогенных веществ и показатели БПК в реках агроландшафтов за 2004–2008 гг. наблюдений
Concentrations of nutrients and BOD indexes in cultivated land rivers for the observation period of 2004–2008

Объект исследования	Концентрация	Показатели и вещества					
		БПК _{полн.} , мг O ₂ /л	БПК ₅ , мг O ₂ /л	NH ₄ , мг/л	NO ₂ , мг/л	NO ₃ , мг/л	P ₂ O ₅ (по P), мг/л
р. Реут в 100 м. выше сброса с очистных сооружений г. Курчатова	средняя	3,96	2,81	0,51	0,041	1,57	0,19
	максимальная	17,29	12,26	1,86	0,520	13,52	2,94
р. Чернь в 100 м выше сброса коллекторно-дренажных вод МГОКа	средняя	3,94	2,63	0,69	0,131	3,00	0,16
	максимальная	18,00	12,00	3,10	0,680	8,69	0,56
р. Речица в 100 м выше сброса с очистных сооружений г. Железнодорожска	средняя	-	2,07	0,18	0,018	0,70	0,11
	максимальная	-	5,50	0,50	0,130	4,76	0,36
		Предельно допустимые концентрации веществ (ПДК) для водоемов рыбохозяйственной категории					
		3,00	2,00	0,40	0,020	9,10	0,20
		Погрешность метода определения					
		±0,14	±0,10	±0,21	±0,060	±0,12	±0,10

Таким образом, стабильное превышение ПДК биогенных и органических веществ в реках агроландшафтов свидетельствует о наличии диффузного загрязнения в результате эрозивно-гидрологических процессов на водосборной территории. Поэтому реки подвергаются эвтрофикации и находятся в неудовлетворительном состоянии уже в верхнем течении. Аналогичная ситуация свойственна не только рассматриваемым рекам. Наши исследования, проведенные на реках Белгородской области [Кумани и др., 2011] и данные гидрохимического мониторинга показывают, что все малые, а также верховья средних и больших рек Центрального Черноземья также имеют повышенные значения концентраций органических и биогенных веществ в верхнем течении.

Следующей нашей задачей было проанализировать влияние изменений хозяйственной деятельности на водосборной территории на многолетнюю динамику содержания биогенных веществ в реках агроландшафтов. Наиболее характерным для этого является временной период с 1990 по 2009 гг., в течение которого происходили существенные разнонаправленные изменения в показателях сельскохозяйственного производства. В первую половину 1990-х гг. в Курской области в 10 раз снизилось количество вносимых на поля минеральных удобрений, на 20% уменьшилась площадь пашни. За период 2000–2009 гг. площадь пашни увеличилась на 8%, внесение минеральных удобрений по сравнению с уровнем 2000 г. увеличилось в 2,5 раза. Так же произошли изменения в структуре посевных площадей, пастбищ, нагрузки на пашню со стороны сельскохозяйственной техники и т. д. [Голубчиков, 2003], что привело к оздоровлению гидроэкологической ситуации в Курской области во 2-й половине 1990-х гг. и к ее ухудшению с начала 2000-х.

Представленные на рисунке 1 кривые изменения концентраций растворенных в воде р. Псел биогенных веществ достаточно четко показывают общую тенденцию их снижения за период спада сельскохозяйственного производства, остаются приблизительно на одном уровне в период его стабилизации и повышаются во время его подъема за 2003–2009 гг. В качестве важного показателя, иллюстрирующего тенденции изменения антропогенных воздействий на гидрохимический режим, на рисунке приводится количество вносимых минеральных удобрений. Так, содержание нитратной и аммонийной форм азота существенно снизилось в стоке реки Псел в период резкого сокращения внесения удобрений, наблюдавшегося в 1993–1995 гг. Содержание минерального фосфора за изучаемый период изменилось меньше всего. Это связано с тем, что фосфор наименее растворим из всех биогенов, и потому медленно вымывается из почвы [Соловьева и др., 2013]. Однако и его концентрации за период 1990–2009 гг. снизились почти в 1,5 раза.

В то же время на всех кривых довольно существенны флуктуации по годам. В отдельные годы концентрации заметно возрастают, а в другие – сокращаются. Эти отклонения, осложняющие общую тенденцию, очевидно, связаны с колебаниями по годам и сезонам гидро-

логических, гидрохимических и гидробиологических условий формирования стока р. Псел [Kumani, 2004].



Рис. 1. Динамика внесения минеральных удобрений и содержание биогенных веществ в р. Псел (створ в с. Горналь) за 1990–2009 гг.

Fig. 1. Dynamics of mineral fertilizers application and nutrients content in the Psel River (in the Gornal hydrologic section) for the period of 1990–2009

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что наблюдающаяся тенденция ухудшения качества поверхностных вод в верхних звеньях гидрографической сети обусловлена тем, что по мере уменьшения площади водосбора увеличивается доля наносов, осаждающихся в донных отложениях рек [Голосов, 2006]. Разработанные для условий Центрального Черноземья методики позволяют количественно оценить смыв почвы и вынос биогенных элементов во время весеннего снеготаяния с территории малого водосбора.

В качестве объекта исследования был выбран элементарный ключевой водосбор площадью 551.5 га, расположенный в верхнем течении р. Чернь преимущественно на серых лесных почвах. Нами было уточнено состояние водосбора с использованием данных дистанционного зондирования Земли. На территории водосбора, согласно проекту внутрихозяйственного землеустройства, в 80-е гг. XX века находились сенокосы и пастбища свиноводческого «Железнодорожский», который в 90-е гг. XX века прекратил свое существование из-за нерентабельности. Для того чтобы узнать, как изменилась структура сельскохозяйственных угодий, нами была использована серия многоканальных космоснимков Landsat с пространственным разрешением 30 м, отражающих характерные фазы вегетационного периода сельскохозяйственных культур с 2008 по 2012 гг. Путем визуального дешифрирования снимков была получена информация о состоянии территории водосбора в настоящее время: контуры полей не изменились, на них осуществляются зерноотрава и зернопропашные севообороты.

На основе уточненных по данным дистанционного зондирования морфометрических и ландшафтных характеристик территории водосбора, в программе ArcGIS 10.1 была построена серия электронных карт: цифровая модель рельефа водосбора, карты экспозиций и крутизны склонов, почвенная карта, отражающая типы почв, степень эродированности и механический состав почв, карты содержания валового азота и подвижных форм фосфора на территории полей. Содержание валовых форм азота на территории водосбора составило от 10 до 14.5 мг/кг почвы, что по агрохимической классификации, отражающей потребности в элементах питания для сельскохозяйственных культур характеризуется как «среднее» содержание. Содержание подвижных форм фосфора, которые являются ближайшим резервом для его перехода в водорастворимые формы, составило от 75 до 127 мг/кг почвы и характеризуется как «высокое».

Далее нами было проведено моделирование смыва почвы во время весеннего снеготаяния (рис. 2) по методике [Герасименко, Кумани, 2000].

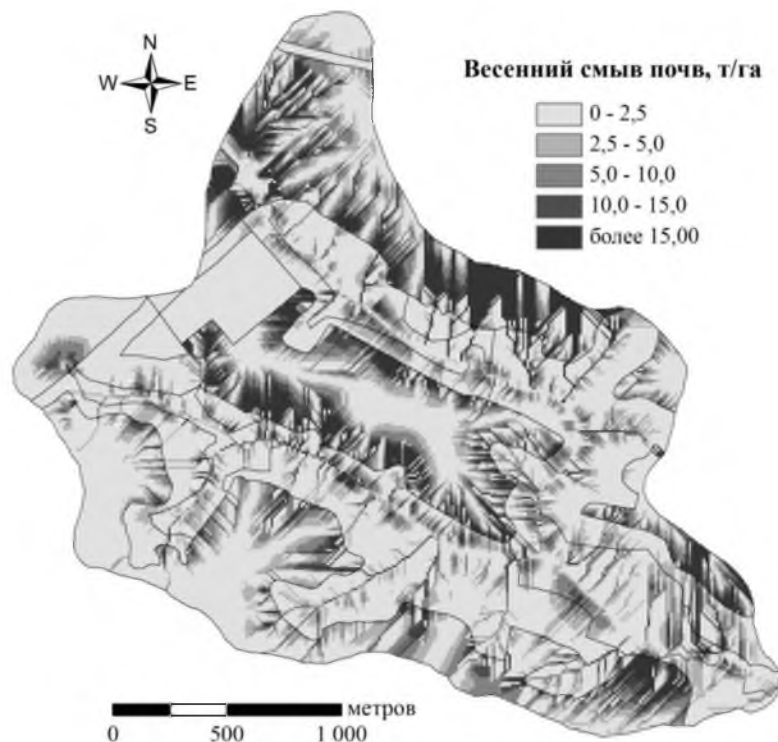


Рис. 2. Среднемноголетний смыв почвы во время снеготаяния на территории водосбора
 Fig. 2. Mean annual soil loss during snowmeling in the catchment area

Расчет весеннего смыва почвы производился по формуле:

$$M_t = P \times M_{cp} \times L \times \sin \alpha \times \pi \times S \times \lambda \times K_{\alpha} \times 147, \quad (1)$$

где M_t – весенний смыв почвы, т/га; P – коэффициент, зависящий от степени увлажнения территории (для лесостепной зоны $P = 0.115$); M_{cp} – зональный среднемноголетний вынос почвы с зяби или уплотненной пашни, т/га; L – расстояние от водораздела до створа, для которого определяется смыв почвы, м; α – уклон склона в градусах на расстоянии L , м от водораздела; π – коэффициент, учитывающий влияние на смыв профиля склона; S – показатель, характеризующий влияние типа (подтипа) почвы на эрозию; λ – коэффициент, отражающий влияние на эрозионные процессы степени эродированности пашни; K_{α} – коэффициент, показывающий воздействие на смыв экспозиции склона.

Среднее многолетнее значение весеннего смыва почвы для водосбора составило 5.8 т/га.

Используя полученные данные по смыву почвы, нами было проведено моделирование выноса валовых форм азота и подвижных форм фосфора со смываемой почвой с пахотных угодий водосбора во время весеннего снеготаяния по методике [Чуян и др., 1985] (рис. 3 и 4). В соответствии с данной методикой, вынос биогенных веществ со смываемой почвой рассчитывают по формуле:

$$P_t = 10^{-3} \times m \times M_m, \quad (2)$$

где P_t – вынос биогенных веществ с наносами, кг; m – содержание биогенных веществ в наносах, мг/кг; M_m – весенний смыв почвы, т/га; 10^{-3} – коэффициент размерности.

Среднее значение выноса, равномерно распределенное по площади пахотных угодий водосбора, составило 0.012 кг/га для валовых форм азота и 1.4 кг/га для подвижных форм фосфора.

В результате снеготаяния с территории сельхозугодий водосбора в среднем за многолетний период выносятся в составе наносов подвижных форм фосфора – 393 кг, валовых форм азота – 3.34 кг. Замыкающим створом для исследуемого водосбора является река Чернь. Далее нами было рассчитано, какое количество биогенных веществ попадает в замыкающий створ ключевого водосбора. Расчет производился по уравнению [Голосов, 2006]:

$$W_d = W_y \times D_t, \quad (3)$$

где W_d – транспорт биогенных веществ в составе наносов через замыкающий створ водосбора; W_y – общий вынос биогенных веществ в составе наносов с территории бассейна; D_t – коэффициент доставки наносов.

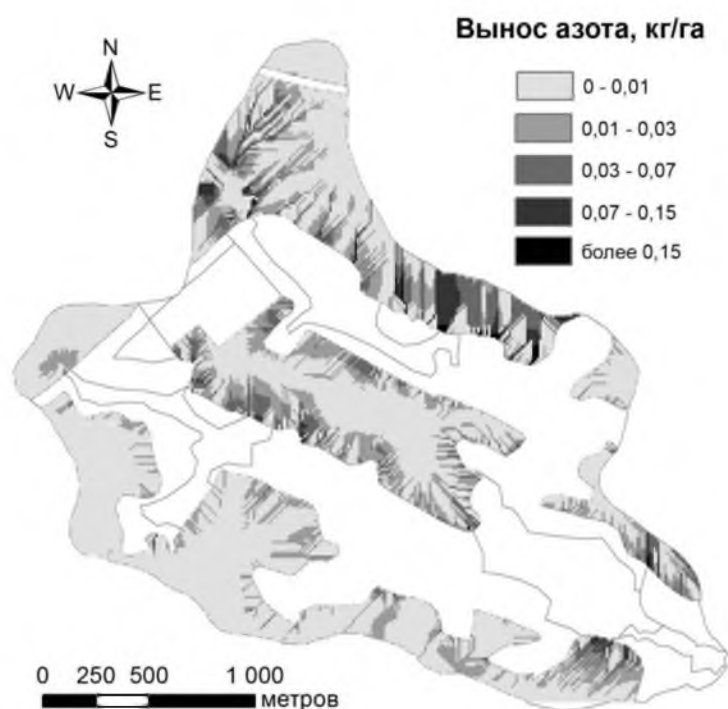


Рис. 3. Среднеголетний вынос валового азота с наносами во время снеготаяния с территории водосбора
Fig. 3. Mean annual total nitrogen loss with sediments during snowmelt period from the catchment area

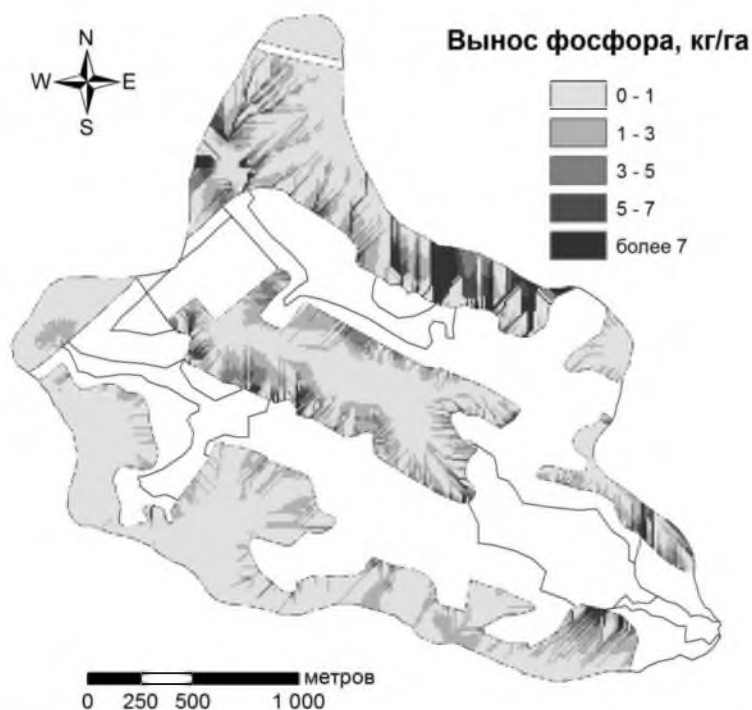


Рис. 4. Среднеголетний вынос подвижных форм фосфора с наносами во время снеготаяния с территории водосбора
Fig. 4. Mean annual labile phosphorus loss with sediments during snowmelt period from the catchment area

Для расчета коэффициента доставки наносов имеется эмпирическое уравнение [Голосов, 2006]:

$$D_r = 0.65 \times F_{\text{вод}}^{-0.27}, \quad (4)$$

где $F_{\text{вод}}$ – площадь водосбора, км².

Таким образом, вынос за пределы замыкающего створа с учетом коэффициента доставки за период снеготаяния составил 46.5 кг для подвижных форм фосфора и 1.36 кг для валовых форм азота. Результаты расчетов и гидрохимического мониторинга показывают, что река Чернь подвергается диффузному загрязнению биогенными и органическими веществами, ко-



торые и определяют особенности ее гидрохимического режима вне зоны влияния Михайловского ГОКа.

Выводы

1. Высокие значения концентраций органических и биогенных веществ в малых и средних реках, результаты расчета выноса азота и фосфора с территории пахотных угодий малого водосбора указывают на наличие диффузного загрязнения, определяющего гидрохимический режим рек агроландшафтов.

2. Поскольку источники диффузного загрязнения оказывают негативное воздействие, начиная с истоков рек, то определение фоновых концентраций органических и биогенных веществ в поверхностных водах становится практически невозможным. Можно говорить о фоновых концентрациях для отдельного выпуска сточных вод, ниже по течению после которого не происходит дальнейшего ухудшения гидрохимического состава, но не о фоновой концентрации веществ для реки в целом. Поэтому понятие «фоновая концентрация» нуждается в уточнении.

3. Многолетние изменения антропогенных, в том числе сельскохозяйственных нагрузок на водосборных территориях отражаются в изменении гидрохимического режима рек, что также указывает на преобладающее влияние эрозионно-гидрологических процессов в формировании качества поверхностных вод на территориях интенсивного сельскохозяйственного освоения.

4. Необходим детальный мониторинг в средних и особенно в малых реках и водосборах для оценки перераспределения химических веществ в агроландшафтах и водных объектах. Результаты мониторинга помогут не только в решении проблем гидроэкологии, но и в решении проблемы ухудшения качества почвенных ресурсов.

5. В результате расчета выноса биогенных элементов в составе наносов установлено, что в среднем за многолетний период во время снеготаяния, в замыкающий для малого водосбора створ – реку Чернь поступает 46.5 кг подвижных форм фосфора и 1.36 кг валовых форм азота только лишь с водосбора площадью 551.5 га. При этом не учтен вынос биогенов в результате дождевой эрозии, что становится все более актуальным в связи с метеорологическими тенденциями последних лет. Для получения более точных сведений о балансе и перераспределении биогенных веществ, необходимо разрабатывать модель, позволяющую рассчитывать вынос биогенных веществ из почвы в результате дождевой эрозии.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ мол_рф_нр № 13-05-90732.

Список литературы

References

1. Алексеевский Н.И., Коронкевич Н.И., Литвин Л.Ф., Чалов Р.С., Ясинский С.В. 2000. Сток и эрозия почв на водосборах как факторы экологической обстановки на реках. Известия АН. Серия Географическая, (1): 52–63.

Alekseevskij N.I., Koronkevich N.I., Litvin L.F., Chalov R.S., Jasinskij S.V. 2000. Run-off and soil erosion on the drained areas as factors of ecological condition on rivers. *Izvestija AN. Serija Geograficheskaja* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series], (1): 52–63. (in Russian)

2. Герасименко В.П., Кумани М.В. 2000. Рекомендации по регулированию почвенно-гидрологических процессов на пахотных землях. Курск, ЮМЭКС, 105.

Gerasimenko V. P., Kumani M. V. 2000. *Recomendatsii po regulirovaniyu pochvenno – gidrologicheskikh protsessov na pakhotnykh zemlyakh* [Guidance for soil erosion and hydrological processes control on the croplands]. Kursk: YUMEKS, 105. (in Russian)

3. Голосов В.Н. 2006. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М., ГЕОС, 296.

Golosov V.N. 2006. *Erozionno – akkumulyativnye protsessy v rechnykh basseynakh osvoennykh ravnin* [Erosion and deposition processes in the river basins of cultivated plains]. Moscow: GEOS, 296. (in Russian)

4. Голубчиков С.Н. 2003. Развитие лесо- и агропользования в центре Русской равнины как фактор современной гидроэкологической обстановки. *В кн.: Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия*. М., Наука: 124–137.

Golubchikov S.N. 2003. Development of forest- and agro-utilization at the center of Russian plane as the factor of modern hydroecological conditions. *In: Anthropogenic influences on water resources of Russia and neighboring countries at the end of XXth century*. Moscow, Nauka: 124–137. (in Russian)

5. Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Черногаева Г.М. 2003. Формы, механизмы и показатели антропогенной нагрузки на водные ресурсы. *В кн.: Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия*. М., Наука: 7–21.



Koronkevich N.I., Zaitseva I.S., Chernogaeva G.M. The forms, mechanisms and parameters of anthropogenic load on water resources. *In: Anthropogenic influences on water resources of Russia and neighboring countries at the end of XXth century*. Moscow, Nauka: 7–21. (in Russian)

6. Кумани М.В., Лисецкий Ф.Н. 2011. Изучение транспорта и накопления загрязняющих веществ в донных отложениях рек агропромышленных регионов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 13 (1): 1443–1448.

Kumani M. V., Lisetskiy F. N. Studying the transport and accumulation of polluting substances in river bottom deposits in agroindustrial regions. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 13 (1): 1443–1448. (in Russian)

7. Кумани М.В., Соловьева Ю.А., Корнилов А.Г. 2011. Особенности фенольного загрязнения рек Курской и Белгородской областей. *Научные ведомости БелГУ. Естественные науки*, 16 (15): 193–198.

Kumani M.V., Solov'eva Yu.A., Kornilov A.G. 2011. Peculiarities of phenol contamination of the rivers of Kursk and Belgorod regions. *Nauchnye vedomosti BelGU. Estestvennye nauki [Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural sciences]*, 16 (15): 193–198. (in Russian)

8. Никаноров А.М. 2001. *Гидрохимия*. СПб., Гидрометеиздат. 444.

Nikanorov A.M. 2001. *Gidrokimiya [Hydrochemistry]*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 444. (in Russian)

9. Райнин В.Е., Виноградова Г.Н. (ред.). 2002. Техногенное загрязнение речных экосистем. М., Научный мир, 140.

Rajnin V.E., Vinogradova G.N. (red.). 2002. *Tehnogennoe zagrjaznenie rechnyh jekosistem [Technogenic contamination of the river ecosystems]*. Moscow, Nauchnyy mir, 140. (in Russian)

10. Соловьева Ю.А., Кумани М.В. 2013. Особенности сезонной динамики растворенных форм азота в малых и средних реках Центрального Черноземья. *Вода: химия и экология*, (3): 16–22.

Solov'eva Yu.A., Kumani M.V. Seasonal dynamics features of dissolved nitrogen forms in minor and mid-size rivers of the Central Black Earth region. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]*, (3): 16–22. (in Russian)

11. Соловьева Ю.А., Сухановский Ю.П., Прущик А.В., Санжарова С.И., Выговтов В.А. 2013. Использование метода дождевания для определения выноса нитратного азота, фосфора и калия из почвы. *В кн.: Агротехнологическая модернизация земледелия. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции (Курск, 11–13 сентября 2013 г.)*. Курск, ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН: 231–235.

Solov'eva Yu.A., Sukhanovskiy Yu.P., Prushchik A.V., Sanzharova S.I., Vytovtov V.A. 2013. Use of a sprinkling method to determine the removal of nitrate nitrogen, phosphorus and potassium from the soil. *In: Agrotekhnologicheskaya modernizatsiya zemledeliya. Sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Agrotechnological modernization of agriculture. Proceedings of the All-Russia conference (Kursk, 11–13 September 2013)]*. Kursk, All-Russia research institute of arable farming and soil erosion control RAAS: 231–235. (in Russian)

12. Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. 1993. *Управление эвтрофированием водоемов*. СПб., Гидрометеиздат, 278.

Khrisanov N.I., Osipov G.K. *Upravlenie evtrofirovaniem vodoemov [The management of waterbody eutrofication]*. Saint Petersburg, Gidrometeoizdat, 278. (in Russian)

13. Чуюн Г.А., Бойченко Э.А., Тур О.П. 1985. *Методические рекомендации по оценке выноса биогенных веществ поверхностным стоком*. М., ВАСХНИЛ, 32.

Chuyan G.A., Boychenko Z.A., Tur O.P. 1985. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke vynosa biogennykh veshchestv poverkhnostnym stokom [Methodical guidelines for estimating nutrients removal with the surface flow]*. Moscow, VASKHNIL, 32. (in Russian)

14. Kumani M.V. 2004. Assessing the effect of agricultural production on the organic and biogenic matter runoff into the Psel river. *Water resources*, 31 (1): 79–84.

Kumani M.V. 2004. Assessing the effect of agricultural production on the organic and biogenic matter runoff into the Psel river. *Water resources*, 31 (1): 79–84. (in Russian, with English summary)