

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 504.4.054

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕКИ ПСЁЛ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭРОЗИОННО-
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОСБОРЕ¹

© 2021 г. М. В. Кумани^{a, *}, В. Н. Голосов^{b, c, d, **}

^aКурский государственный университет, Курск, 305000 Россия

^bМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, 119991 Россия

^cИнститут географии РАН, Москва, 119017 Россия

^dКазанский федеральный университет, Казань, 420008 Россия

*e-mail: kumanim@yandex.ru

**e-mail: gollossov@gmail.com

Поступила в редакцию 16.05.2020 г.

После доработки 29.10.2020 г.

Принята к публикации 29.10.2020 г.

Усиление антропогенного пресса на водосборы малых и средних рек Центрально-черноземного региона России, связанное со значительной распашкой и увеличением числа животноводческих комплексов, способствует росту концентраций органических и биогенных веществ в постоянных водотоках при отсутствии источников их точечных сбросов. Это указывает на увеличение диффузного загрязнения рек в результате эрозионно-гидрологических процессов на хозяйственно освоенных водосборах. Рассмотрен случай формирования катастрофического загрязнения верховьев р. Псёл, приведший к массовой гибели гидробионтов на 25-километровом участке реки. Установлено, что причина этого — катастрофическое снижение концентраций кислорода в воде, обусловленное сочетанием различных активных водно-эрозионных процессов на распаханном водосборе, связанных с выпадением аномальных дождевых осадков, температурного режима и гидродинамических характеристик данного участка русла реки. Показано, что в отсутствие почво- и водоохранных мероприятий на водосборах малых рек Центрально-черноземных областей при определенных погодно-климатических условиях фоновое диффузное загрязнение воды в водотоках может достигать катастрофического уровня.

Ключевые слова: речной бассейн, эрозия почв, фоновые концентрации, биогенные вещества, органическое загрязнение, водоохранные мероприятия.

DOI: 10.31857/S0321059621040118

ВВЕДЕНИЕ

Характер и степень загрязнения водных объектов — отражение вида и интенсивности хозяйственной деятельности на водосборной территории [1–3], так как река и ее бассейн — единая система, транспорт веществ в которой наиболее активно осуществляется водными потоками. Загрязнение малых рек урбанизированных территорий в целом выше, чем рек с сельскохозяйственно освоенными водосборами в силу большего числа точечных источников загрязнения [4]. Тем не менее уровни загрязнения водоемов в сельской местности также могут многократно превышать ПДК при отсутствии необходимого контроля за численностью поголовья скота на их водосборах [18].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 19-29-05025мк).

Водосборные площади рек Центрально-черноземных областей (ЦЧО) в настоящее время активно освоены предприятиями агропромышленного комплекса. Значительную долю речных бассейнов здесь занимают агроландшафты, которые в современных условиях представлены в основном пашней. В последние годы в Курской и Белгородской областях резко возросло число свиноводческих и птицеводческих комплексов [16]. Органические удобрения, образующиеся при их функционировании, массово вывозятся на соседние поля. В результате водно-эрозионных процессов на сельскохозяйственных угодьях на территориях речных бассейнов органические и биогенные вещества, обеспечивающие почвенное плодородие, поступают с поверхностным стоком в водные объекты, меняют свою экологическую функцию и становятся загрязнителями. Относи-



Рис. 1. Космоснимок части бассейна р. Псел на участке его слияния с р. Запселец. Легенда: 1 — граница Государственного биосферного заповедника им. Аλεхина (ЦЧЗ); 2 — русла рек Псел и Запселец; 3 — точка и номер отбора проб воды (точка отбора 6 находится за пределами снимка в истоках р. Псел); 4 — “Обоянский плес”, участок русла р. Псел ниже по течению от впадения в него р. Запселец.

тельно хорошо изучено влияние почвенно-эрозийного диффузного загрязнения на трансформацию гидрохимического режима рек и изменение их так называемого фоновое загрязнения [7, 10, 11, 19].

Следует отметить, что наиболее подвержены любому загрязнению малые и средние реки в силу их небольшой водности и низкой способности к самоочищению [10, 17, 20]. Особенность малых и средних рек — тесная зависимость качества воды от состояния водосборной территории, что обуславливает их значительную уязвимость при интенсивном хозяйственном освоении водосбора.

В июле–августе 2018 г. на р. Псел в районе г. Обояни наблюдалась массовая гибель рыбы и других гидробионтов. Анализ этого катастрофического происшествия позволяет сделать ряд принципиальных теоретических выводов о влиянии диффузных источников загрязнения не только на изменение фоновых концентраций загрязняющих веществ в водотоках, но и на формирование экстремального загрязнения, приводящего к экологическим катастрофам. Этот случай тем более интересен, что, проведя детальный мониторинг катастрофического загрязнения реки, природоохранные органы не могли определить источник загрязнения.

Цель данной работы — детальная характеристика условий возникновения массовой гибели гидробионтов и замора рыбы в р. Псел в августе 2018 г., водосбор которой характеризуется доминированием агроландшафтов; детальная оценка изменений комплекса растворенных в воде химических веществ в условиях дефицита кислорода и

их гидроэкологической роли как потенциальных поллютантов — загрязняющих веществ.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Участок массовой гибели гидробионтов находится в верхнем течении р. Псел выше г. Обояни в районе п. Пригородный. Длина основной реки до п. Пригородный ~57 км, площадь водосбора 1100 км², распаханность водосбора >70%. Непосредственно выше участка замора в р. Псел впадает ее правый приток р. Запселец длиной 26 км и с площадью водосбора 378 км². Водосбор р. Псел выше участка гибели гидробионтов расположен на территориях Пристенского и Обоянского районов Курской области и Прохоровского района Белгородской области. В месте слияния рек Псел и Запселец находятся лесные и болотные массивы Государственного биосферного заповедника им. Аλεхина (ЦЧЗ) (рис. 1).

Основной участок, на котором произошла гибель гидробионтов, — русло р. Псел в районе п. Пригородного и дальше вниз по течению реки. Для удобства дальнейшего обсуждения назовем его “Обоянский плес”. По данным управления Росприроднадзора по Белгородской области, вниз по течению р. Псел заморы распространились на расстояние ~25 км.

Сложнее с определением верхней по течению р. Псел границы заморов, так как сведения об этом довольно противоречивы и не вполне конкретны. По данным обследования комиссии представителей Центрально-Черноземного заповедника им. Аλεхина (ЦЧЗ) от 30.07.2018 г., ги-

бель рыбы отмечена у п. Пригородного и на всей территории заповедника на расстоянии 2 км. Из подобного утверждения не ясно, был ли замор рыбы на реках Псёл и Запселец выше по течению от их слияния. При этом устье р. Запселец находится в ~3 км выше по течению от пляжа в п. Пригородном (рис. 1).

В работе использованы данные гидрохимического мониторинга, который проводился в период заморов в июле–августе 2018 г. Отбор проб воды для анализа проводился не только на участке замора, но и выше и ниже по течению р. Псёл в нескольких ручьях, притоках р. Псёл, на заболоченных участках ЦЧЗ – всего 13 точек отбора, причем по ряду точек проводился повторный отбор проб воды (рис. 1). При этом по единой методике контролировалось 18 веществ.

Отбор проб, их консервацию и последующую обработку проводила гидрохимическая лаборатория филиала Центра лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу (ЦЛАТИ) по Курской области, имеющая аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.512049 и бессрочную лицензию Росгидромета на ведение гидрохимического мониторинга. Данные по сточным водам очистных сооружений г. Железнодорожска предоставлены аттестованной лабораторией водоканала. Аналитические исследования выполнялись в соответствии с утвержденными официальными методиками ПНДФ.

Для анализа гидрометеорологических условий собраны и обработаны данные гидрологических наблюдений на водомерном посту на р. Псёл у г. Обояни (период действия с 1943 г.) и метеорологической станции г. Обоянь Центрально-Черноземного УГМС.

Для более наглядного представления имеющихся данных мониторинга качества воды построены графики связи концентраций кислорода с остальными контролируемыми гидрохимическими показателями. Для анализа использована объединенная выборка, включающая в себя все обследованные природные водные объекты – р. Псёл, ее притоки и сток с болотного массива. Данные по качеству воды в стоке очистных сооружений г. Железнодорожска использованы только для сравнения.

Характеристики параметров русел рек Псёл и Запселец на исследованном участке получены на основе полевых измерений и с крупномасштабных топографических карт.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Массовый замор рыбы на участке “Обоянского плёса” и ниже по течению р. Псёл обусловлен сочетанием нескольких факторов, каждый из ко-

торых по отдельности не мог привести к столь негативным последствиям.

Первый фактор – гидрографические особенности участка р. Псёл ниже устья р. Запселец (рис. 1). Важно для понимания произошедшего загрязнения то, что до слияния верхних течений рек Псёл и Запселец уклоны русла р. Псёл составляют 1.5‰, а уклоны русла р. Запселец – 1.5–1.6‰, к тому же часть русла р. Запселец в районе рыбоводных прудов спрямлена и канализована. После слияния рек Псёл и Запселец уклоны русла резко снижаются до 0.16‰, русло на участке “Обоянского плёса” в летний период на 80–90% зарастает высшей водной растительностью и водорослями, из-за чего скорости течения снижаются до 0.1 м/с. В результате на участке реки “Обоянский плёс” с глубинами 1.5–2 м и скоростями течения, близкими к нулевым, происходит переотложение взвешенных наносов, поступающих с участков русел выше по течению с большими уклонами и скоростями течения 0.3–0.5 м. Также здесь ослабевает турбулентное перемешивание в потоке воды; следовательно, ухудшается газообмен с атмосферой и уменьшается обогащение водной массы кислородом.

Второй фактор – аномально сильные и продолжительные осадки. Детальный совместный анализ динамики выпадения осадков и изменений уровня воды в реке позволяет выявить примерное соотношение поверхностного, внутрипочвенного и подземного стока. Рассмотрим более подробно гидрометеорологические условия, предшествовавшие замору гидробионтов и сопровождавшие его в р. Псёл. (рис. 2, 3).

За июль в бассейне р. Псёл выпало 179 мм осадков при норме 82 мм, т.е. 218% от нормы. При этом отмечено три ливня со слоями осадков 25–40 мм за сутки, что привело к резкому росту расходов воды, которые достигли своих максимальных значений 23–25 июля, после чего началось их снижение вплоть до конца августа, когда они вернулись к значениям, характерным для летней межени (рис. 2).

Подъем уровня воды в р. Псёл начался 7 июля и достаточно плавно нарастал вплоть до 15 июля. Учитывая, что в этот период сначала были перемены между днями с дождями (рис. 2), плавный рост расходов объясняется двумя причинами. В начальный период роста расходов основной прирост стока воды происходил за счет внутрипочвенного стока и постепенного нарастания подземного стока. Локально мог наблюдаться и поверхностный сток на отдельных участках пашни, но он еще не приводил к формированию мощного поверхностного стока на водосборе и в балочной сети. В период 15–17 июля, когда выпало 84 мм осадков, уже создались условия для формирования поверхностного стока на большей

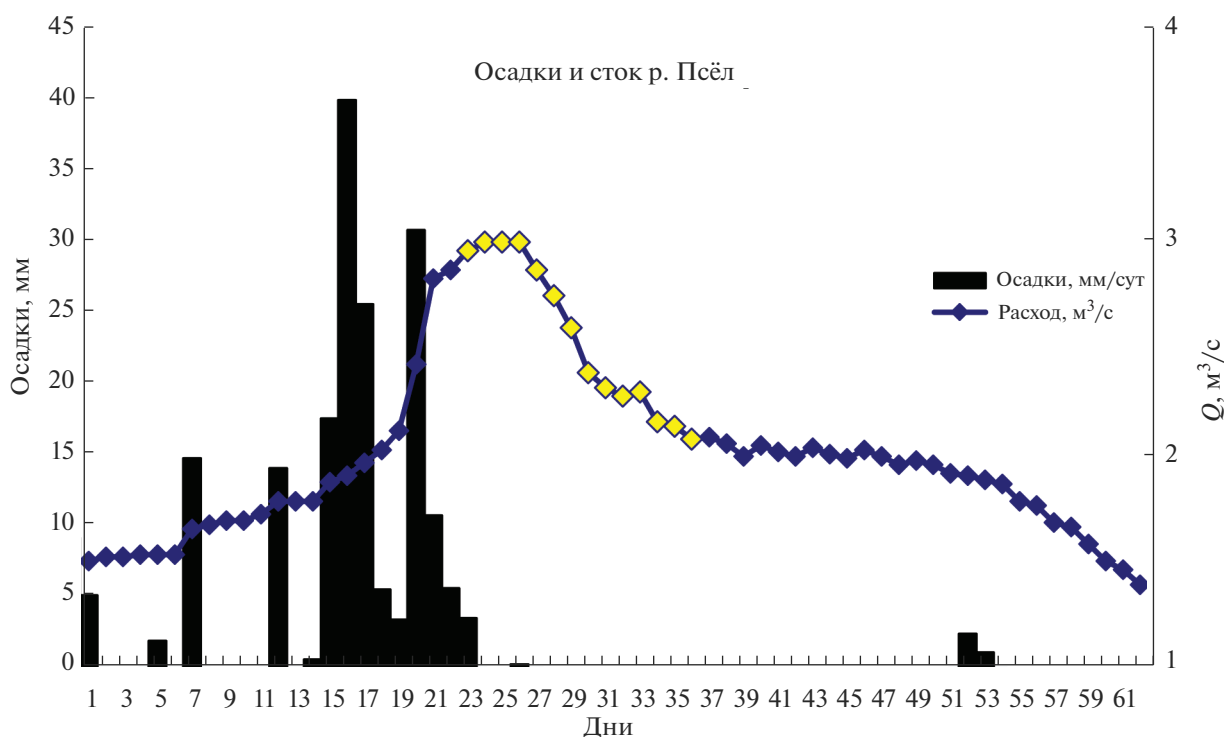


Рис. 2. Суточные слои осадков (по данным метеостанции г. Обоянь) и средние суточные расходы воды в р. Псёл (по данным гидрологического поста у г. Обоянь) с 1 июля по 31 августа 2018 г. Без заливки выделены маркеры периода заморных явлений.

площади пашни и в балочной сети. Но все же резкого роста расходов воды в реке не произошло, так как значительная часть стока перехватывалась прудами и малыми водохранилищами, которые в основном располагаются в балочной сети и в истоках р. Псёл и его притоков.

Согласно данным многолетних наблюдений на р. Псёл на гидрологическом посту у г. Обояни, средний многолетний минимальный расход летней межени равен $1.01 \text{ м}^3/\text{с}$, наименьший за весь период наблюдений — $0.38 \text{ м}^3/\text{с}$. Перед началом дождей сток в реке был равен среднему многолетнему минимальному расходу ($1 \text{ м}^3/\text{с}$). В период паводка он уже перешел в разряд ливневых паводковых расходов ($2.49 \text{ м}^3/\text{с}$), хотя и уступал среднему многолетнему максимальному расходу ливневых паводков ($5.5 \text{ м}^3/\text{с}$). Продолжительная засуха, предшествовавшая ливням, сократила их водоотдачу.

И только с 19 июля, после того как влагонасыщенность почв достигла своего предела, начался резкий рост расходов воды в р. Псёл (рис. 2), который, по сути, был полностью обусловлен поверхностным стоком со склонов водосбора, доля пашни на котором составляет 70%. Поверхностный сток способствовал смыву почв, интенсивность которого во многом зависела от проективного покрытия поверхности почвы посевами и от

характера обработки почв после уборки урожая на части полей. Имеющиеся данные наблюдений за смывом в ЦЧО позволяют утверждать, что наибольшими темпы эрозии почв были на убранных, но еще не перепаханных полях [5, 21], что типично для конца июля — начала августа на территории Курской области. Вполне вероятно, что на поля был вывезен в качестве удобрений навоз из отстойников животноводческих комплексов, которые повсеместно расположены на водосборе рек Псёл и Запселец. Не исключено, что органическое вещество могло поступать на склоны и далее в постоянные водотоки и за счет переполнения отстойников животноводческих ферм водой (рис. 4).

Именно формирование поверхностного стока, прежде всего на пашне, продолжавшегося, судя по росту расходов воды, минимум до 21 июля (рис. 2), привело к поступлению значительных объемов наносов и органических веществ, транспортируемых в виде коллоидов, в постоянные водотоки. Наносы и органическое вещество переносились в виде хлопьевидной взвеси или флоккул [22]. На участке “Обоянского плёса” в связи с малыми скоростями потока и большим количеством водной растительности отложились значительные объемы органического вещества. При этом еще большая часть смытых с пашни наносов переотложилась в днищах долин суходольной се-

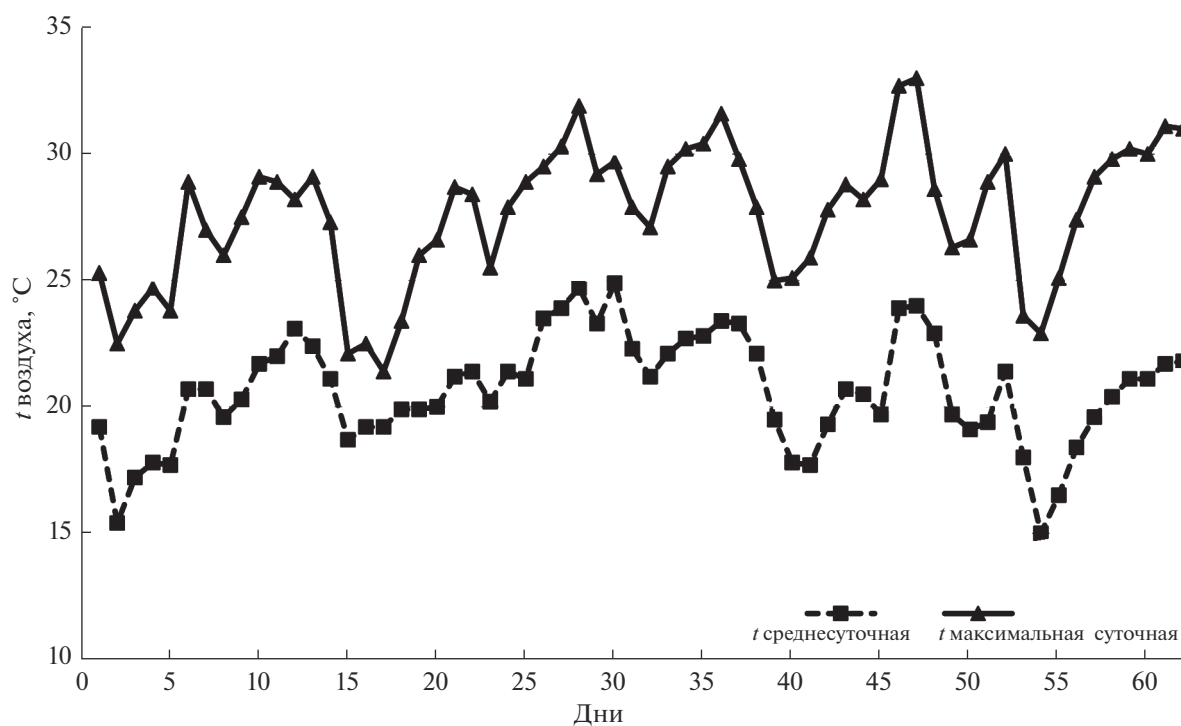


Рис. 3. Средние суточные и максимальные значения температуры t воздуха с 1 июля по 31 августа по данным метеостанции г. Обоянь.



Рис. 4. Космический снимок типичного животноводческого комплекса в Пристенском районе Курской области восточнее с. Верхняя Ольшанка в верховьях р. Псёл. 1 — пруды-отстойники свинофермы; 2 — промоины на пашне (внизу) и на участке склона около прудов отстойников.

ти, прудах и водохранилищах, а также на пойме рек Псёл и Запселец, которые имеют на значительном протяжении ширину >100 м, что способствует аккумуляции материала, поступающего на них из суходольной сети. Известно, что на Сред-

нерусской возвышенности 8–10% продуктов смыва с пашни поступает в постоянные водотоки [23, 24].

Третий фактор, способствующий массовому замору рыбы, — резкое повышение температуры

воздуха, превысившей среднесуточную (рис. 3). Это произошло после того, как осадки прекратились и установилась жаркая антициклоническая погода. Температура воздуха, по данным метеостанции г. Обояни, в конце июля — начале августа достигала аномальных значений: среднесуточная составляла 25°C, а максимальная >30°C. И только 8—11 августа температура понизилась до климатической нормы — среднесуточная 17—18°C, максимальная ~25°C (рис. 3). На фоне снижения стока воды в реке после 25 июля (рис. 2) это способствовало быстрому повышению температуры воды в реке на “Обоянском плёсе”, что привело к интенсификации процессов окисления органических веществ при одновременном снижении растворимости газов (в частности, кислорода), загниванию, сбраживанию “свежих” донных отложений [4]. Произошло падение содержания кислорода, приведшее к гибели водорослей и высших водных растений в русле р. Псёл на участке у г. Обояни.

При обычных паводках эрозионный материал частично транспортируется вниз по течению рек, частично откладывается на плевых участках с небольшими уклонами, к числу которых относится русло р. Псёл ниже впадения р. Запселец. В период прохождения весеннего половодья это происходит при относительно низкой температуре воздуха, а летом — обычно очень малыми порциями. В результате отложившийся эрозионный материал, поступивший в водоток с водосбора и обогащенный органическим веществом, постепенно перерабатывается в илистые донные отложения. При этом речная экосистема адаптирована к подобным ситуациям.

Поскольку основная причина заморов рыбы — дефицит кислорода, рассмотрим динамику его содержания во времени и пространстве. Имеет смысл напомнить, что допустимое содержание кислорода в воде рек рыбохозяйственного значения в теплый период года составляет ≥ 6 мг O_2 на 1 дм³, или на 1 л воды [14]. Критично снижение до 4 мг/дм³, при значениях <2 мг/дм³ может начаться гибель водных организмов, наиболее чувствительных к дефициту кислорода (например, форель, лососевые), а при содержании <1 мг/дм³ происходит гибель практически всей ихтиофауны и гидробионтов [6].

Отметим, что на участках рек Запселец и Псёл выше их слияния (рис. 1) по пробам, взятым в период с 25.07.2018 по 07.08.2018, содержание кислорода было >3.8 мг/дм³ (табл. 1), т.е. до катастрофических концентраций кислорода в воде и заморов ситуация не доходила.

Иная картина наблюдалась в р. Псёл ниже устья р. Запселец на участке “Обоянского плёса”. С 25.07.2018 по 30.07.2018 в нескольких створах вплоть до пляжа пос. Пригородного (рис. 1) кон-

центрации кислорода были сначала <1 мг/дм³ (минимум 0.7 мг/дм³), а затем вплоть до 3.08.2018 ≤ 1.4 мг/дм³. Только к 9.08.2018 концентрация кислорода увеличилась до 4.2—3.8 мг/дм³ (табл. 1).

На участке “Обоянского плёса” с близкими к нулевым скоростями течения, огромным скоплением неперебродившей органики, принесенной ливневым паводком, происходила гибель гидробионтов. Процессы разложения органики шли в анаэробных условиях при резком дефиците кислорода, особенно на глубине. В этом причина гнилостных запахов, оранжевой пены и высокого содержания взвешенных веществ и коллоидных частиц в воде, в том числе и радужной пленки.

Только к 9 августа 2018 г. положение более или менее стабилизировалось, когда максимальная температура воздуха снизилась с 30 до 25°C, а среднесуточная с 23.4 до 17.7°C (рис. 3). Содержание кислорода на участке замора повысилось до 4.2 мг/дм³, а выше него практически достигло нормативных значений (5.5 мг/дм³) (табл. 1).

В процессе разложения органики в речной воде формируются синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), фенолы и нефтепродукты. Возрастают концентрации токсичных ионов азота — аммонийного и нитритного. Меняются концентрации металлов. Образование коллоидных взвесей в процессе анаэробного разложения органики меняет соотношение растворенных в воде и адсорбированных на взвешенных веществах слаборастворимых металлов в пользу адсорбированных форм, возрастает их суммарное содержание.

Поскольку очевидно, что основной фактор экологического риска для гидробионтов в анализируемой ситуации — дефицит кислорода, важно оценить, как экстремальный кислородный режим повлиял на изменение содержания остальных гидробиологических показателей (табл. 1; рис. 5, 6).

Выявлена не вполне тесная обратная зависимость содержания взвешенных веществ от концентрации растворенного в воде кислорода (рис. 5). Отсутствие более четко выраженной связи объясняется различным соотношением минерального и органического вещества в пробах воды. Оно менялось случайным образом, что и влияло на характер связи химической потребности кислорода (ХПК) и полной биологической потребности кислорода (БПКп), характеризующих содержание в воде химически и биологически растворенных органических веществ. ХПК и БПКп связаны с кислородом аналогичным образом — их концентрации резко возрастают по мере возникновения дефицита растворенного в воде кислорода и снижаются при увеличении его концентрации, причем связи практически функциональные (рис. 5). Хотя выявленные закономерности достаточно тривиальны, они убедительно подтверждают из-

Таблица 1. Сводная таблица гидрохимических показателей р. Псёл и ее притоков за период заморных явлений

№	Точки отбора проб (номера точек соответствуют рис. 1)	Дата отбора пробы	O ₂ , мг/дм ³	Взвешенные вещества, мг/дм ³	ХПК, мгО ₂ /дм ³	БПК _п , мгО ₂ /дм ³	Азот аммонийный, мг/дм ³	Нитрит-ион, мг/дм ³	Нитрат-ион, мг/дм ³	Фосфор (по PO ₄), мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	АПВ, мг/дм ³	Железо общее, мг/дм ³	Zn, мг/дм ³	Mn, мг/дм ³
	Значение рыбохозяйственных ПДК					3.00	0.40	<0.020	40.00	0.200	0.050	0.5000	0.100	0.0100	0.010
1	р. Псёл, пляж п. Пригородный	25.07.2018	0.71	14.4	49.0	25.10	0.98	<0.020	1.46	0.657	0.075	0.0116	1.540	0.0092	2.210
1		30.07.2018	0.84	23.2	50.0	26.40	1.20	<0.020	0.94	0.044	0.043	0.0450	0.163	0.0279	1.360
1		03.08.2018	1.29	5.2	41.0	21.00	0.99	<0.020	1.10	0.016	0.051	0.0380	0.307	0.0185	0.489
1		09.08.2018	4.22	2.4	27.2	16.40	0.36	<0.020	0.11	0.629	0.083	0.0670	0.253	0.1200	0.240
2	р. Псёл выше по течению от пляжа	30.07.2018	1.39	199.0	59.0	32.10	0.13	<0.020	0.92	0.411	0.010	0.0204	0.045	0.0067	0.640
3		30.07.2018	0.89	34.4	40.0	16.40	0.04	<0.020	1.05	0.800	0.048	0.0159	0.101	0.0043	0.770
4	р. Запселец (у моста)	30.07.2018	4.48	24.0	29.3	14.70	0.11	<0.020	1.54	0.634	0.010	0.0690	0.083	0.0165	0.087
4		03.08.2018	5.58	1.2	29.1	6.11	0.46	0.051	1.56	0.016	0.044	0.0800	0.455	0.1700	0.115
5	руч. Гнилец (у с. Зорино)	30.07.2018	4.04	11.6	18.5	9.98	0.04	0.033	1.87	0.629	0.035	0.0140	0.022	0.0472	0.085
5		03.08.2018	5.73	3.0	17.1	6.24	0.23	0.099	1.85	0.016	0.204	0.1140	0.560	0.0450	0.092
6	р. Псёл, верхнее течение с. Пересыпь	03.08.2018	6.92	8.6	19.2	3.03	0.30	0.038	1.05	0.515	0.017	0.1003	0.650	0.0531	0.211
7	р. Псёл выше устья р. Запселяца	25.07.2018	3.80	9.6	42.0	20.10	0.53	<0.020	1.11	0.476	0.124	0.0450	0.093	0.0012	0.172
8	р. Псёл с. Камынино	09.08.2018	5.52	4.8	15.4	5.36	0.20	<0.020	2.13	1.060	0.046	0.0390	0.092	0.0570	0.066
9	р. Псёл, ниже по течению от пляжа	09.08.2018	3.42	32.6	27.5	17.10	0.40	<0.020	0.10	0.830	0.100	0.0740	0.123	0.1070	0.159
10	р. Гостимерец, Кривцово	07.08.2018	6.86	9.2	27.3	4.34	0.31	0.127	4.35	0.651	0.044	0.0330	0.500		
11	р. Гостимерец, Бобрышово	07.08.2018	7.83	13.0	10.9	4.59	0.17	0.022	2.67	0.281	0.047	0.0141	0.137		
12	Болото в ЦЧЗ сток в р. Псёл	09.08.2018	5.53	5.8	26.0	15.50	0.41	<0.020	0.43	0.501	0.047	0.0630	0.137	0.1740	0.155
13	Болото в ЦЧЗ	09.08.2018	3.61	7.6	46.0	31.50	1.17	<0.020	0.91	0.200	0.088	0.0890	0.500		0.630
	Максимальные превышения рыбо- хозяйственных ПДК	—	—	—	—	10.7	3.0	1.6	—	5.3	4.18	—	15.4	17.4	221
	Стоки на ОС г. Железнодорожска	Среднее за 2018 г.	—	254.0	319.0	242.00	35.80	<0.020	0.00	4.600	1.140	2.1300	1.020		

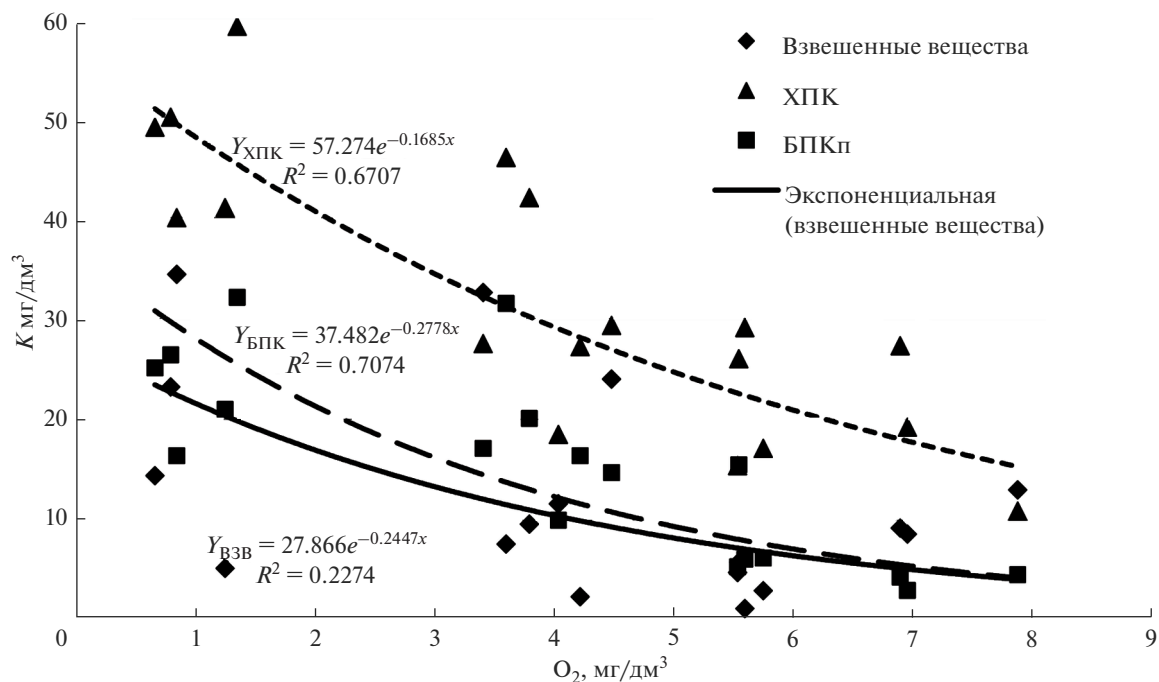


Рис. 5. Зависимость концентраций взвешенных веществ, ХПК и БПКп от содержания растворенного кислорода в р. Псёл и ее притоках за период заморных явлений.

быточное содержание органического вещества на участке “Обоянского плёса” в период замора.

Концентрации растворенного марганца заметно возрастают при уменьшении содержания в воде кислорода (рис. 6), тогда как концентрации ме-

ди и цинка ожидаемо не зависят от содержания в воде кислорода.

Важный гидроэкологический и водохозяйственный аспект гидрохимических особенностей заморных явлений на р. Псёл — соотношение

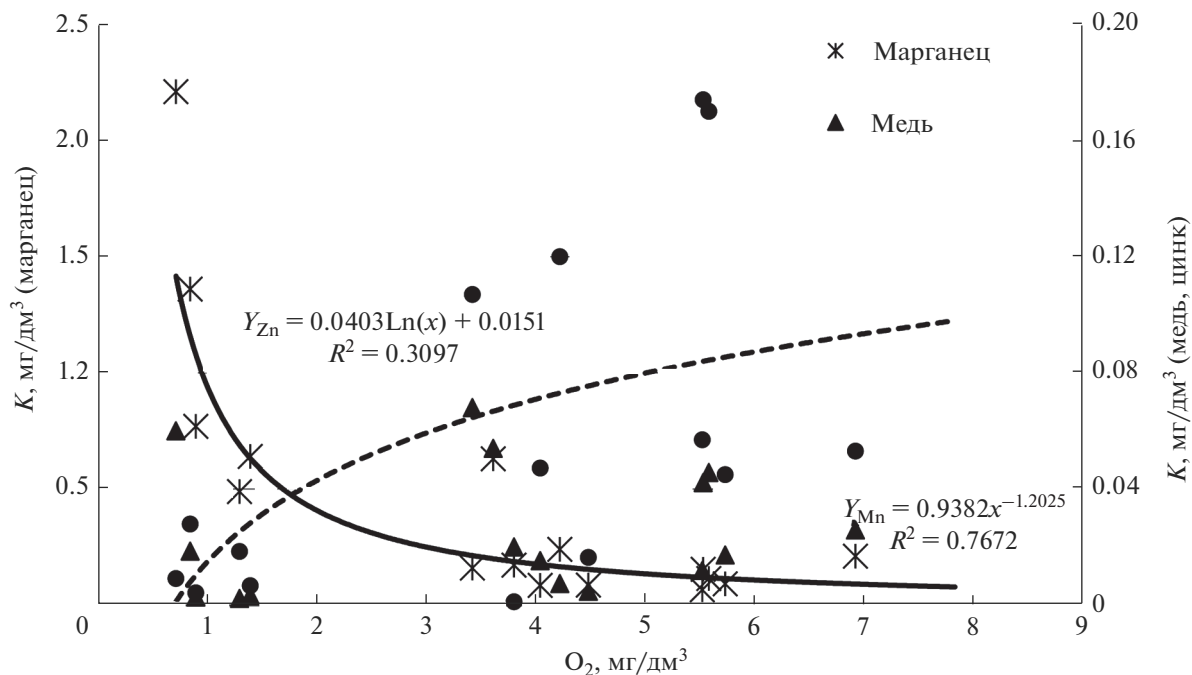


Рис. 6. Зависимость концентраций микроэлементов — меди, цинка, марганца — от содержания растворенного кислорода в р. Псёл и ее притоках за период заморных явлений.

концентраций изученных веществ с установленными ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения категории 1, к которой относится р. Псёл. Эти ПДК установлены едиными для всей территории России приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552. Ученые и специалисты много лет критикуют жесткость и необоснованность многих значений ПДК, называя главным их недостатком то обстоятельство, что они не учитывают региональные особенности гидрохимического режима водотоков и водоемов, т.е. никак не связаны со сформировавшимися фоновыми концентрациями [7, 9].

В связи с этим интересно сопоставить существующие стандарты ПДК и фактические концентрации химических веществ в воде р. Псёл в период заморных явлений. В табл. 1 в верхней строчке приведены существующие стандарты ПДК, а в нижней строчке — кратность превышения ПДК максимальными наблюдаемыми значениями в отобранных пробах гидросети водосбора р. Псёл.

Максимальные превышения отмечены для растворенных металлов — железа в 15.4 раза, цинка в 17.4, меди в 68, марганца в 221 раз. Интересно, что одно из максимальных превышений по марганцу определено в пробе воды, отобранной из болотного массива Государственного биосферного ЦЧЗ. Очевидно, что присутствие в таких концентрациях растворенного в природной воде марганца на охраняемой территории может быть обусловлено только природными гидрохимическими особенностями региона. Так и концентрации остальных металлов, многократно превышающие ПДК, постоянно наблюдаются в водах родников, рек, озер, водохранилищ, прудов региона [8–12]. Эти вещества постоянно присутствуют в воде защищенных водоносных горизонтов, питающих реки и эксплуатируемых хозяйственно-питьевыми водозаборами Курской и сопредельных областей Черноземья [8, 12].

С этой точки зрения применение к таким веществам термина “загрязняющие” неуместно, поскольку имеем дело с фоновыми концентрациями. Таким образом, можно с высокой степенью уверенности утверждать, что гидробионты р. Псёл за длительное время адаптировались к сформировавшимся фоновым концентрациям и содержание растворенных в воде в таких концентрациях металлов не может быть причиной заморных явлений и их гибели.

Кроме металлов, ПДК превышают концентрации азота аммонийного (в 3 раза), фосфора ортофосфатов (в 5.3 раза), нефтепродуктов (в 4.1 раза). Но и эти превышения постоянно встречаются в водных объектах региона в нормальных условиях [9, 10, 13]. Сами по себе такие превышения не оказывают негативного влияния на гидробионты,

в том числе на ихтиофауну. Более того, можно отметить, что во всех учебниках и рекомендациях по разведению прудовых рыб для нормального развития мальков и роста рыбы рекомендованы концентрации фосфора ортофосфатов до 3.0 мг/дм³ (превышение ПДК в 15 раз), а азота аммонийного до 2.0 мг/дм³ (превышение ПДК в 5 раз) [15]. Следовательно, концентрации и этих веществ в период заморных явлений не могли стать причиной гибели гидробионтов.

Рассмотрим превышение показателей БПКп (в 10.7 раз). Сама по себе концентрация этих органических веществ не может оказывать токсического воздействия на ихтиофауну и иных гидробионтов. Вопрос только в степени аэрации водной массы. Если при активной аэрации содержание кислорода в воде не падает ниже критических значений для водоемов высшей категории рыбохозяйственного водопользования (6 мг/дм³), то нет и негативного воздействия на гидробионты.

В экспертизах, подготовленных после гибели гидробионтов в р. Псёл, высказывались несколько версий о причинах случившего:

залповый сброс сточных вод одного из крупных животноводческих комплексов на водосборе р. Псёл;

фекальное загрязнение реки;

вынос с полей загрязненной почвы и отходов жизнедеятельности крупного рогатого скота;

поступление экстремально загрязненной воды с болотных массивов, прилегающих к участку загрязнения и замора на р. Псёл.

Как причина экстремального загрязнения залповый сброс сточных вод одного из крупных животноводческих комплексов, расположенных на водосборе р. Псёл в Пристенском, Обоянском или Прохоровском районах, маловероятен. В этом случае загрязненная вода должна была бы перемещаться по руслу рек Псёл или Запселец. При этом степень загрязнения должна постепенно убывать вниз по течению реки в связи с разбавлением. В этом случае заморные явления и гибель рыбы должны были бы проявиться выше по течению от слияния рек, но согласно имеющимся данным, гибели рыбы не отмечено ни в р. Псёл, ни в р. Запселец выше их слияния.

Фекальное загрязнение также маловероятно. Во-первых, на участке загрязнения нет крупных населенных пунктов с очистными сооружениями, которые могли бы накопить, а затем залпом сбросить фекальные стоки ниже территории заповедника, но выше г. Обояни.

Во-вторых, при фекальном загрязнении высокое содержание органических соединений сочетается с очень высоким содержанием аммонийного азота (несколько десятком миллиграмм на литр) и высоким содержанием фосфатов (не-

сколько мг/л). Ни того, ни другого вещества в таких экстремальных концентрациях в пробах не обнаружено (табл. 1).

Поступление экстремально загрязненной воды с болотных массивов, прилегающих к участку загрязнения и замора, также не могло дать такого негативного и объемного эффекта. Анализ болотной воды показал, что хотя в ней содержится довольно высокое содержание органических веществ (табл. 1), эта вода содержит достаточно кислорода с точки зрения рыбохозяйственных нормативов. К тому же в районе прилегающих наиболее крупных болотных массивов ЦЧЗ на р. Псёл заморных явлений не отмечено (рис. 1). Рыба, по данным сотрудников заповедника, выше устья р. Запселец не пострадала.

Прямой залповый вынос с полей загрязненной почвы и отходов жизнедеятельности животных непосредственно в момент заморозов также не мог произойти из-за прекращения осадков и установления сухой жаркой погоды в период формирования экстремального загрязнения.

Таким образом, основная причина возникновения замора, который продолжался несколько дней, — автохтонное загрязнение водной массы в результате экстремальных природных процессов, спровоцированное диффузным, пространственно распространенным по водосбору эрозийным выносом с полей почвы, в том числе обогащенной органическими удобрениями из отходов жизнедеятельности, и последующий транспорт этой массы в виде наносов по элементам гидрографической сети.

Массовое строительство в последние годы животноводческих и птицеводческих комплексов в Курской и Белгородской областях оказывает негативное влияние на состояние водных ресурсов. За последние годы на территории Прохоровского района построено около 20, на территории Пристенского района — 11, Обоянского района — 3 крупных животноводческих комплексов.

Безусловно, комплексы крайне важны, они решают экономические и продовольственные проблемы России и ее регионов. Но, к сожалению, в современных условиях ослаблен, а порою практически отсутствует экологический контроль влияния таких комплексов на природную среду и особенно на водные ресурсы. На рис. 4 показана типичная схема расположения одного из животноводческих комплексов на водосборе р. Псёл в Пристенском районе Курской области. Отчетливо видно, что ниже по склону от прудов-отстойников и промышленной площадки животноводческого комплекса сформировались крупные промоины, прослеживающиеся вплоть до вершины ближайшей ниже по уклону сухой долины (балки). Данная сухая долина — приток р. Псёл. На верхнем участке р. Псёл расположен

каскад из нескольких прудов, поэтому попадание загрязненных стоков непосредственно в реку маловероятно, так как пруды способны аккумулировать большое количество речных наносов. Но общее состояние реки, качество ее воды, безусловно, будут испытывать влияние таких животноводческих объектов. Здесь же расположены распаханное поле, на которых нет никаких следов противоэрозийных, почвоохранных мероприятий: полосного земледелия, лесополос, залуженных тальвегов или иных агротехнических, гидро- или лесомелиоративных приемов. Получается, что современный характер землепользования на водосборе р. Псёл, как и на водосборах большинства рек ЦЧО, не способствует сохранению почвенного плодородия, из-за чего в речную сеть беспрепятственно могут поступать как продукты водной эрозии на пашне, так и загрязняющие, в основном органические, вещества от животноводческих комплексов. Все это провоцирует как фоновую загрязненность поверхностных и подземных водных ресурсов, так и возможность возникновения катастрофических экологических ситуаций при определенных гидрометеорологических условиях.

Есть представление, что диффузное загрязнение малых рек в районах доминирования сельскохозяйственного производства возможно только в период снеготаяния [19]. Однако данный пример показывает, что изменения климата, способствующие росту повторяемости интенсивных ливней и продолжительных по времени периодов с выпадением осадков, при определенных ситуациях могут приводить к поступлению в малые реки большого объема органического вещества совместно с наносами. При неблагоприятном сочетании нескольких факторов это может приводить к катастрофическим последствиям в виде массовой гибели рыбы и другой ихтиофауны. Усиление антропогенного пресса на водосборы малых рек ЦЧО, особенно возросшее в последние годы, — основной фактор вероятного роста повторяемости подобных явлений.

ВЫВОДЫ

Анализ катастрофического замора гидробионтов на р. Псёл в июле—августе 2018 г. в районе г. Обояни позволяет сделать ряд принципиальных выводов о влиянии диффузных источников загрязнения не только на изменение фоновых концентраций загрязняющих веществ в водотоках, но и на формирование экстремального загрязнения, приводящего к экологическим катастрофам.

Непосредственной причины в виде катастрофического залпового сброса загрязняющих веществ, вызвавшей гибель гидробионтов в р. Псёл, нет. Причина создавшейся ситуации — сочетание

набора хозяйственных и природных факторов. Вероятность повторяемости аналогичных ситуаций на данный момент времени представляется относительно невысокой.

Анализ гидрохимических особенностей изученных заморных явлений показал, что основной поражающий фактор – дефицит кислорода, который сопровождается специфическими изменениями всего комплекса растворенных в воде и находящихся во взвешенном состоянии химических веществ и соединений.

Главная внешняя (ландшафтная) причина массового замора рыбы – высокая степень распаханности водосбора реки, сочетающаяся с недостаточной противоэрозионной организацией территории. Несмотря на то, что давно разработаны, а в некоторых регионах и внедрены системы природоохранного, противоэрозионного земледелия, в Курской области этому направлению природоохранной деятельности внимания практически не уделяется. В условиях экономической нестабильности землепользователи стремятся к максимальному получению прибыли, минимизируя расходы, в том числе экономя на природоохранной деятельности.

Ситуацию усугубляет наличие большого числа крупных животноводческих комплексов, отходы которых в лучшем случае вносятся на пашне, где остаются доступными для процессов водной эрозии, попадая в гидрографическую сеть с эрозийным материалом. В некоторых случаях отходы этих предприятий могут попадать в гидрографическую сеть практически напрямую. Число животноводческих комплексов может увеличиваться, что существенно повысит вероятность возникновения негативных сценариев в плане ухудшения качества поверхностных и подземных вод.

В результате увеличения повторяемости сильных ливней в последние десятилетия в Курской области возрастают риски потери плодородия уникальных черноземов за счет водно-эрозийных процессов. В сочетании с увеличением числа животноводческих комплексов это способствует повышенному риску возникновения опасных гидроэкологических явлений, приводящих в том числе к гибели гидробионтов и массовому замору рыб. При этом установить непосредственных виновников подобных экстремальных ситуаций очень сложно, а зачастую и невозможно. Тем более сложно доказать их вину, так как отсутствуют конкретные точечные источники сбросов в месте заморов.

При изучении влияния диффузных источников на качество поверхностного стока необходима количественная оценка поступления органических и биогенных веществ в реки агроландшафтов с водосборов различных порядков. Необходимо более строгий контроль утилизации отходов

животноводческих комплексов и региональная программа по разработке и внедрению систем почвозащитных мероприятий, направленных на снижение ливневой эрозии почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И., Коронкевич Н.И., Литвин Л.Ф., Ясинский С.В.* Сток и эрозия почв на водосборах как факторы экологической обстановки на реках // Изв. АН. Сер. геогр. 2000. №1. С. 52–63.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. *Н.И. Коронкевича, И.С. Зайцевой*. М.: Наука, 2003. 367 с.
3. *Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И.* Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах Русской равнины // Вод. ресурсы. 2018. № 4. С. 332–340.
4. *Венецианов Е.В., Аджиенко Г.В., Щеголькова Н.М.* Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Матер. лекций II-й Всерос. шк.-конф. Т. I. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 23–41.
5. *Голосов В.Н., Маркелов М.В., Беляев В.Р.* Современные тенденции перераспределения наносов в центре Русской равнины // Эрозия почв и русловые процессы. М.: МГУ, 2010. Т. 17. С. 46–60.
6. *Кляшторин Л.Б., Яржомбек А.А.* О зависимости дыхания рыб от содержания растворенного кислорода // Тр. ВНИРО. 1975. Т. 96. С. 69–74.
7. *Кумани М.В.* Оценка влияния сельскохозяйственного производства на сток органических и биогенных веществ в р. Псел // Вод. ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 85–90.
8. *Кумани М.В., Борзенков А.А., Гонеев И.А., Соловьева Ю.А.* Загрязнение поверхностных вод, донных отложений и почв в зоне влияния Михайловского ГОКа // Проблемы регион. экологии. 2010. № 1. С. 40–44.
9. *Кумани М.В., Борзенков А.А., Кичигин Е.В.* Оценка влияния горных работ МГОКа и г. Железногорска на качество поверхностных вод // Освоение месторождений минеральных ресурсов. 8 междунар. симпоз. Белгород: ВИОГЕМ, 2005. Ч. 2. С. 295–302.
10. *Кумани М.В., Ревкова Е.Е.* Использование гидро-экологических показателей для экологической оценки состояния аквальных комплексов // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России. II междунар. конф. Белгород: БГУ, 2006. С. 84–89.
11. *Кумани М.В., Соловьева Ю.А.* Особенности сезонной динамики растворенных форм азота в малых и средних реках Центрального Черноземья // Вода: химия и экология. 2013. № 3. С. 16–22.
12. *Кумани М.В., Соловьева Ю.А.* Учет сезонной динамики биогенного загрязнения рек для оценки экологических рисков водопользователей // Тр. IV Меж-

- дунар. конф. "Теория и практика экологического страхования". М.: НИЦ "Экопроект", 2009. С. 80–83.
13. Кумани М.В., Соловьева Ю.А., Корнилов А.Г. Особенности фенольного загрязнения рек Курской и Белгородской областей // Науч. ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. Вып. 16. № 15 (110). С. 193–198.
 14. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М.: Высш. шк., 1991. 368 с.
 15. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. М.: Минрыбхоз СССР, 1990. 44 с.
 16. Печеневский В.Ф., Попов И.С., Гулиева У.Ф. Оценка тенденций сдвигов в размещении отраслей животноводства по областям Центрального Черноземья в постсоветский период // Вестн. ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 2. С. 478–489.
 17. Сафина ГР., Голосов В.Н. Влияние изменений климата на внутригодовое распределение стока малых рек южной половины Европейской территории России // Уч. зап. КФУ. Сер. Естественные науки. 2018. Т. 160. № 1. С. 111–125.
 18. Уланова С.С., Новикова Н.М. Поступление фосфора в искусственные водоемы Калмыкии от животноводческих предприятий // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46. № 6. С. 629–637.
 19. Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневская И.А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // Вод. ресурсы. 2019. Т. 46. № 2. С. 232–240.
 20. Ясинский С.В., Гуров Ф.Н., Шилькром Г.С. Метод оценки выноса биогенных элементов в овражно-балочную и речную сеть малой реки // Изв. РАН. Сер. географ. 2007. № 4. С. 44–53.
 21. Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenko K.S., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ^{137}Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets // Sediment Dynamics in Changing Environments. IAHS Publ. Wallingford: IAHS Press UK, 2008. V. 325. P. 114–122.
 22. Droppo I.G. Rethinking what constitutes suspended sediment // Hydrol. Processes. 2001. V. 15. P. 1551–1564.
 23. Golosov V.N., Ivanova N.N., Gusarov A.V., Sharifullin A.G. Assessment of the trend of degradation of arable soils on the basis of data on the rate of stratozem development obtained with the use of ^{137}Cs as a chronomarker // Eurasian Soil Sci. 2017. V. 50. № 10. P. 1195–1208.
 24. Golosov V., Koiter A., Ivanov M., Maltsev K., Gusarov A., Sharifullin A., Radchenko I. Assessment of soil erosion rate trends in two agricultural regions of European Russia for the last 60 years // J. Soils Sediments. 2018. V. 18. № 12. P. 3388–3403.