



УДК 556.3(470.332)

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.114–132

Джамалов Р. Г., Никаноров А. М., Решетняк О. С., Сафронова Т. И.

ВОДЫ БАССЕЙНА ОКИ: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

UDC 556.3(470.332)

doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.114–132

DZHAMALOV R.G., NIKANOROV A. M., RESHETNYAK O. S, SAFRONOVA T. I.

THE WATER OF THE OKA RIVER BASIN: CHEMICAL COMPOSITION AND SOURCES OF POLLUTION

Аннотация

Выполнен анализ многолетних данных гидрохимического состава поверхностных и подземных вод бассейна Оки. Выявлена динамика в пространственно-временном распределении химических компонентов и их соединений. Показано, что современное антропогенное воздействие на условия формирования природных вод служит основным фактором их загрязнения, характеристики которого даны на основе комплексного индекса загрязненности и класса воды. Установлено, что рр. Москва и Клязьма отличаются наибольшим загрязнением по сравнению с другими притоками. Выявленное пространственное распределение химических ингредиентов речных вод увязано со стоком рек и его гидрологическими фазами.

Ключевые слова: речной сток, подземные воды, загрязнение, химические ингредиенты, качество воды, экология.

Авторы

Джамалов Роальд Гамидович

доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ заведующий лабораторией ФГБУ «Институт

Annotation

The analysis of long-term data in the hydrochemical composition of the surface and underground waters in the basin of the Oka River. Dynamics in spatio-temporal distribution of chemical components. It has been shown that the modern human impact on the conditions of formation of natural waters is the primary factor in their pollution, the characteristics of which are given on the basis of an integrated pollution index and water class. Found that the pp. Klyazma and Moscow have the highest pollution compared to other tributaries. Observed the spatial distribution of chemical ingredients of River waters is linked to rivers flow and its hydrological phases.

Key words: river run-off, groundwater, contamination, chemical ingredients, water quality, ecology.

Authors

Dzhamalov Roald Gamidovich

Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences
Head of lab, Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences;

водных проблем РАН»;
главный научный сотрудник ФГБУ «Институт
водных проблем РАН»
Тел.: 8 (499) 783-37-57
E-mail: roald@iwp.ru

Никаноров Анатолий Максимович

чл.корр. РАН, доктор геолого-минералогиче-
ских наук, профессор
главный научный сотрудник ФГБУ «Гидрохи-
мический институт», г. Ростов-на-Дону;
Зав. отделом ФГБУН «Институт водных про-
блем РАН», г. Москва
профессор Института наук о Земле Южного
федерального университета
Тел.: 8(863) 222-66-68
E-mail: a.nikanorov@gidrohim.com

Решетняк Ольга Сергеевна

кандидат географических наук
старший научный сотрудник ФГБУ «Гидрохи-
мический институт», г. Ростов-на-Дону;
старший научный сотрудник ФГБУН «Инсти-
тут водных проблем РАН»;
доцент Института наук о Земле Южного фе-
дерального университета;
Тел.: 8 (863) 222-66-68 (доб. 131)
E-mail: olgare1@mail.ru

Сафронова Татьяна Ивановна

ведущий инженер ФГБУН «Институт водных
проблем РАН», г. Москва
Тел.: 8 (499) 783-37-57
E-mail: tisafr@yandex.ru

Tel.: 8 (499) 783-37-57

E-mail roald@iwp.ru

Nikanorov Anatoly Maksimovich

member of corr. RAS, Doctor of Geologo-
Mineralogical Sciences, Professor
Chief Scientific Officer of the Hydrochemical
Institute;
Head Department of Water Problems Institute,
Russian Academy of Sciences;
Professor at the Earth Sciences Institute of
Southern Federal University;
Tel.: 8 (863) 222-66-68
E-mail: a.nikanorov@gidrohim.com

Reshetnyak Olga Sergeevna

PhD of Geographical sciences
Senior Researcher of the Hydrochemical
Institute;
Senior Researcher of the Institute of Water
Problems of the Russian Academy of Sciences;
Associate Professor at the Earth Sciences
Institute of Southern Federal University;
Tel.: 8 (863) 222-66-68 (ext. 131)
E-mail: olgare1@mail.ru

Safronova Tatiana Ivanovna

prinsipal engineer, Water Problems Institute,
Russian Academy of Sciences
Tel.: 8 (499) 783-37-57
E-mail: tisafr@yandex.ru

Введение в проблему

Бассейн реки Оки практически целиком находится в центральной части европейской России и на его территории располагаются 16 субъектов РФ с развитой экономикой и существенной нагрузкой на водные ресурсы. В связи с этим воды Оки и ее притоков испытывают прежде всего качественное истощение за счет антропогенного воздействия, что обуславливает необходимость не только целенаправленного изучения этой проблемы, но и установление взаимосвязи качества воды с водностью последних десятилетий и генетическими составляющими речного стока.



Бассейн Оки находится в умеренном климате. Средняя температура января – от -10 до -12 °С, июля – от $+18$ до $+20$ °С. Годовая величина атмосферных осадков снижается с запада на восток от 750 мм до 650 мм. Продолжительность выпадения твердых осадков в течение года составляет около 30%, а жидких – 70%. Такое соотношение связано с тем, что в условиях современных мягких зим и частых переходов температуры воздуха через 0 °С наблюдается рост выпадений в виде дождя. Средняя интенсивность осадков за теплый период составляет немногим более 1.6 мм/час. Согласно [2] выделяют четыре градации продолжительности выпадения осадков: слабые ($i \leq 1.8$ мм/ч), умеренные ($1.8 < i \leq 6$), сильные ($6 < i \leq 60$) и очень сильные ($i > 60$ мм/ч). В последние десятилетия на большей части России продолжительность и частота выпадения слабых осадков уменьшается, а сильных и очень сильных растет. Ливневые осадки с интенсивностью более 0.5 мм/мин могут вызвать максимальные расходы дождевых паводков и быстрое повышение уровней малых рек. Причем расходы таких паводков могут превысить максимальные расходы от снеготаяния.

На территории бассейна развиты в основном широколиственные леса, чередующиеся с елово-сосновыми видами. Лесистость уменьшается с севера на юг от 80% до 2–10%. Среди почв на севере преобладают дерново-подзолистые и болотные, которые на юге в степной зоне сменяются мозаичным вкраплением черноземов.

Леса и почвенный покров оказывают существенное влияние на химический состав формирующихся на водосборах поверхностные, почвенные и подземные воды. В частности, на минерализации, содержании органических веществ и биогенных элементов. Вода при высоких паводках и в половодье обогащается органическими кислотами, что увеличивает ее цветность, снижает pH и уменьшает содержание гидрокарбонатов. В межень влияние залесенности проявляется слабо, и вода рек вновь приобретает гидрокарбонатно-кальциевый состав. Подобное влияние на состав природных факторов, конечно, не исключает антропогенное воздействие на гидрохимический режим речных вод и их загрязнение [12].

Объект исследования

Исследование проведено на основе анализа многолетних данных гидрохимического состава речных и подземных вод, а также их качества с учетом индексов загрязненности воды в бассейне Оки. Река Ока – самый крупный правый приток р. Волги с площадью водосбора 245 тыс. км² и общей длиной 1500 км. Обладает развитой гидрографической сетью с более 30 притоками. Сток самой Оки можно считать условно естественным, т. к. только ее приток – р. Москва – зарегулирован гидротехническими сооружениями.

В средний по водности год общий объем стока Оки 37.7 км³, или 154 мм. Средний расход воды составляет у г. Орел 18.8 м³/с, у г. Калуга 296, в устье 1300, а наибольший – 20 тыс. м³/с. Средняя скорость течения изменяется от 0.4 до 1.5 м/с. Река покрывается льдом в начале декабря, а вскрывается обычно в первой декаде апреля. Половодье проходит с апреля по май в верхнем течении и до начала июня в нижнем. Водный режим отличается высоким весенним половодьем, летней и зимней меженью, осенними паводками. В зимний период река питается в основном грунтовыми водами. Питание р. Оки преимущественно снеговое [12]. Речной сток в бассейне Оки постепенно возрастает за период инструментальных наблюдений. Среднее увеличение расходов воды за 1930–2012 гг. при аппроксимации многолетних колебаний линейным трендом составляет 40 м³/с за 10 лет. В еще большей степени проявляются увеличение подземной составляющей общего стока – около 2.2 км³ за 10 лет за 1930–2010 гг. Аналогичный характер колебаний прослеживается для подземной составляющей стока в лимитирующий месяц как в течение летне-осеннего (VI–X), так и зимнего (XI–III) периодов. Различают несколько основных генетических типов вод, участвующих в формировании речного стока и озер: 1) поверхностно-склоновые воды, стекающие по поверхности водосборов; 2) почвенные воды, дренируемые из почвенной толщи и из временных водоносных горизонтов; 3) подземные воды, дренируемые из постоянных водоносных горизонтов.

Генетическое расчленение составляющих речного стока с помощью изотопных и химических консервативных трассеров позволяют обоснованно выделить доли поверхностного, почвенного и подземного стоков в общем речном, а также установить вклад талой и дождевой воды с различных частей водосбора. Помимо этого, с помощью трассеров можно выделить в гидрографе стока так называемые «старую» и «новую» воду, которые сформировались на водосборе до или в течение определенной фазы стока (половодье, паводок, межень) [14].

В результате таких исследований установлено, что в бассейне малой реки вклад «новой» воды нередко оставляет всего 50% и менее объема половодья или паводка. Большая часть дренируемой в этот период воды сформировалась на водосборе до начала изучаемой гидрологической фазы [15]. Исследованиями с помощью трассеров показано, что возраст воды в русловой сети может достигать нескольких десятилетий, т. е. в русле доминирует «старая» вода, сформировавшаяся на водосборе до начала дождя или снеготаяния [16].

Наблюдениями на Валдайском стационаре ГГИ установлено, что разгрузка подземных бассейнов в реки носит пульсирующий характер. Это обусловлено тем, что гидравлический импульс инфильтрационного питания



водоносного горизонта (в весенний и осенне-зимний сезоны) вызывает гидравлический импульс поршневого вытеснения части подземных вод в реку. За счет передачи гидростатического давления происходит волновое вытеснение порции «старой» воды при сохранении баланса между объемами питания и разгрузки подземных и почвенных вод. Таким образом, изотопные исследования показали, что порция инфильтрационного питания подземных вод сохраняется (аккумулируется) в водоносном горизонте или зоне аэрации на месяцы и годы и вытесняется в речную сеть очередными импульсами питания [16].

Рассмотренная степень участия различных генетических типов природных вод в формировании половодного и паводочного стока в бассейнах малых рек подтверждается наблюдениями на водосборах в различных ландшафтно-климатических зонах России. Установлено, что после снеготаяния в нисходящей половодной волне доля подземного питания постепенно возрастает до 85% за счет снижения вклада дождевых и почвенных вод. В последующий меженный период преобладает подземное питание. При формировании очередных паводков за счет затяжных дождей (осенний сезон) вклад подземных вод снижается до 65% и менее с постепенным ростом дождевых и почвенных вод [5].

Непосредственные измерения степени участия различных генетических типов природных вод в формировании половодного и паводочного стока согласуются с особенностями формирования годового и сезонного стока под влиянием современных климатических условий. При этом различные по возрасту склоновый, почвенный и подземный сток поступают в русловую сеть в импульсном режиме, что служит обоснованием наблюдаемых особенностей формирования сезонного стока. В частности, существенное увеличение зимнего стока обусловлено именно таким режимом разгрузки почвенных и подземных вод, которые получают дополнительное питание при частых оттепелях и слабом промерзании зоны аэрации [13]. Следовательно, при подъеме и пике половодья в речном стоке преобладают поверхностно-склоновые и почвенно-грунтовые воды, на спаде половодья – почвенно-грунтовые, а в период летней и зимней межени – грунтовые.

Суммарный сток р. Оки закономерно снижается с северо-запада на юго-восток (рис. 1, а). В верхнем течении реки (до г. Калуга) они составляют 6–7 л/(с·км²), для водосборов малых притоков – до 5, а максимальные значения (7–9 л/(с·км²)) характерны для северной и северо-западной частей региона – бассейнов рр. Москвы, Нерли, Клязьмы. Правобережные притоки нижнего течения Оки отличаются низкими значениями стока, составляя 4–5, а в бассейне Цны до 3–4 л/(с·км²).

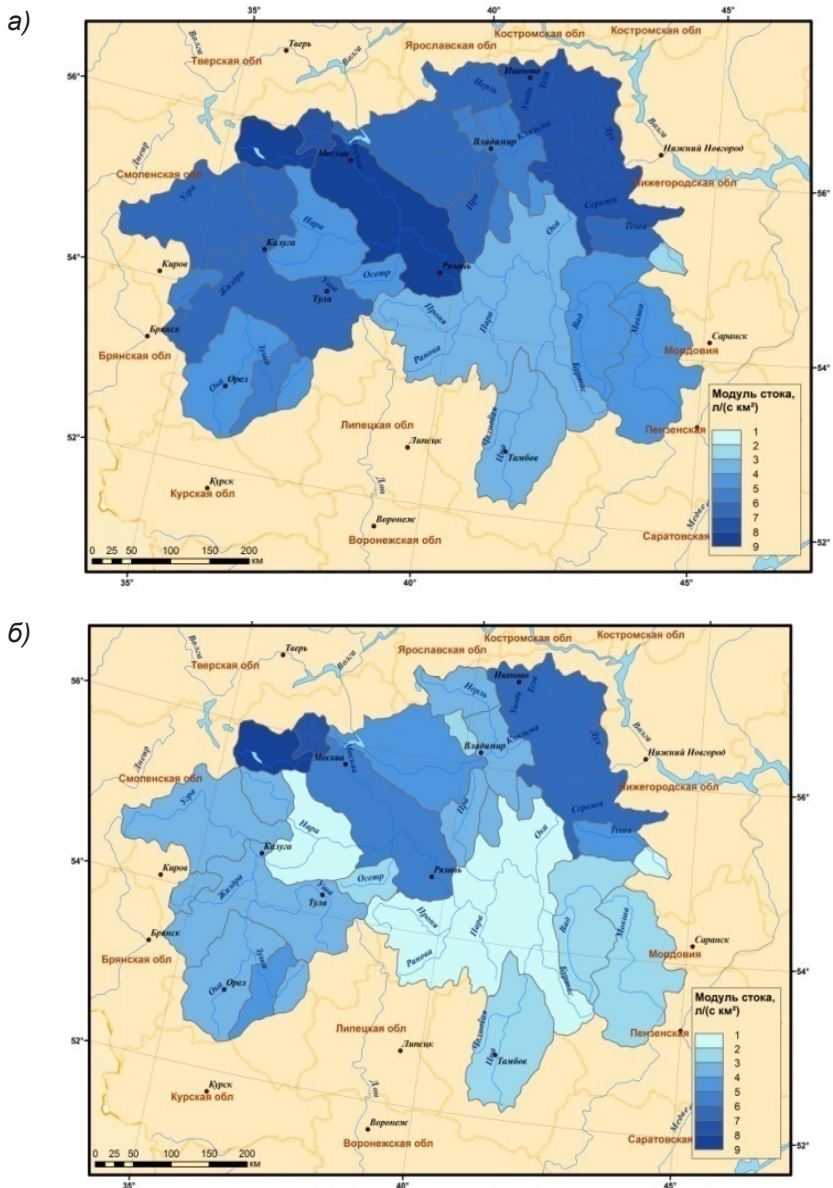


Рис.1. Средние значения годового (а) и меженного (б) стока бассейна Оки (осредненные за период 1978–2013 гг.)

Изменения общих величин стока в бассейне составляют 20–30% как с положительным, так и отрицательным знаком. При этом интенсивный рост стока (до 50%) наблюдается на участках от г. Кашира до с. Половское и от



г. Касимов до г. Горбатов. Однако на участке от с. Половское до г. Касимов происходит снижение общего стока (до 15%). Наиболее высокая изменчивость общего стока свойственна юго-восточной части бассейна, правобережным притокам нижнего течения Оки (бассейн р. Цны, Мокши, Теши, Вада).

Распределение меженного (подземного) стока в Окском бассейне носит неравномерный характер (рис. 1, б). Наиболее высокие его значения характерны нижнему течению Оки (от г. Касимов до г. Горбатов), бассейнам рр. Москва и Клязьма, где модули стока достигает 7–8 л/(с·км²). Наименьшими значениями подземного стока обладает юго-восточная часть бассейна, где модули снижаются до 2–3 л/(с·км²), а в бассейнах рр. Вада и Мокша – до 1–2 л/(с·км²). На участках с минимальными модулями подземного стока наблюдается их увеличение до 100%. Для остальных рек прирост величин меженного стока составляет около 50–70%, снижаясь на участках от г. Калуга до г. Кашира и от с. Половское до г. Касимов до 15–20%.

Доля подземного стока в суммарном стоке бассейна Оки меняется от 0.3 до 0.7, составляя в среднем около 0.5–0.6. Изменение этого соотношения наилучшим образом иллюстрирует все возрастающую роль естественных ресурсов подземного стока в суммарных водных ресурсах региона. Согласно выполненным расчетам современные суммарные водные ресурсы в бассейне Оки составляют 43.1 км³/год, причем за 1976–2013 г. они возросли в среднем на 18%. При этом 29.4 км³/год (около 70%) составляют ресурсы подземных вод [13]. Наибольшая водность для большинства рек бассейна наблюдалась в 1994 г. и составляла 100–171% от средней многолетней, а наименьшая водность в 2011 г. 58–80% от средних значений.

Методика исследования

Изменчивость химического состава воды р. Оки за период 2000–2013 г. рассмотрена по таким показателям как растворенный в воде кислород, хлориды, сульфаты, азот аммонийный, азот нитритный, азот нитратный, соединения железа (общего), меди, цинка, никеля, фенолы летучие, нефтепродукты, легкоокисляемые органические вещества (по БПК₅) и трудноокисляемые органические вещества (по ХПК).

Оценка многолетней динамики качества воды и степени ее загрязненности проведена на основе сочетания дифференцированного и комплексного способов оценки. Комплексная оценка позволяет судить о гидрохимическом состоянии водной среды по ряду показателей качества воды и классифицировать степень ее загрязненности при антропогенной нагрузке.

К наиболее информативным комплексным показателям качества воды относятся [7]:

- удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ);
- класс качества воды (ККВ).

Значение **УКИЗВ** изменяются в зависимости от степени загрязненности вод от 1 до 16. Большому значению индекса соответствует худшее качество воды. При оценке комплексного показателя оптимальное число учитываемых ингредиентов составляет от 10 до 25. Поэтому этот метод позволяет оценить и классифицировать загрязненность воды по широкому спектру ингредиентов и показателей ее качества. Обычно в качестве норматива используют ПДК вредных веществ для водных объектов рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого или культурно-бытового водопользования, т. е. методической основой комплексного способа служит оценка степени загрязненности воды по совокупности ЗВ с выделением из них, так называемых, характерных ЗВ, частота превышения ПДК которых более 50% случаев. Основа дифференцированного способа – оценка качества воды водных объектов по отдельным загрязняющим веществам с использованием их ПДК и статистических методов.

Классификация качества воды, проведенная на основе значений УКИЗВ, позволяет разделять поверхностные воды на 5 классов в зависимости от степени их загрязненности: 1-й класс – условно чистая; 2-й класс – слабо загрязненная; 3-й класс – загрязненная; 4-й класс – грязная; 5-й класс – экстремально грязная [7].

Результаты и их обсуждение

Химический состав речных вод. Смена генетических составляющих водного стока, гидрологических фаз и водности водотока вызывает изменения минерализации и химического состава вод. В зависимости от ландшафтно-климатических условий водосборов рек и состава водовмещающих пород водоносных горизонтов в бассейне выделяются участки рек с очень малой минерализацией (менее 100 мг/дм³), малой минерализацией (100–200), средней минерализацией (200–500), повышенной минерализацией (сумма ионов 500–1000), высокой минерализацией воды (свыше 1000 мг/дм³) [8]. В последних случаях минерализация воды рек может быть повышена за счет питания подземными водами из карбонатных пород и существенного загрязнения.

Гидрохимический режим рек бассейна Оки характеризуется естественными колебаниями во времени химического состава и отдельных его компонентов и веществ. Наряду с этим современные особенности



гидрохимического режима проявляются в колебании уровня загрязненности воды различными ингредиентами, характеризующий как процессы антропогенного загрязнения, так и самоочищения водных объектов по обобщенным показателям качества и свойств речной воды [6].

Минерализация воды самой Оки от истоков до г. Муром не выше 260–600 мг/дм³ и только на отдельных участках ближе к низовьям достигает 700–800 мг/дм³. По составу вода гидрокарбонатно-кальциевая. По течению реки содержание гидрокарбонатных ионов постепенно уменьшается, а сульфатных ионов возрастает, особенно в меженный зимний и летний периоды с декабря по март и с июня по сентябрь. Минимальные величины минерализации воды возросли за последние десятилетия со 120 мг/дм³ в 1991-2001 гг. до 510 мг/дм³ в 2009-2011 гг., что может быть связано с маловодьем последних лет и возросшей степенью загрязнения [10].

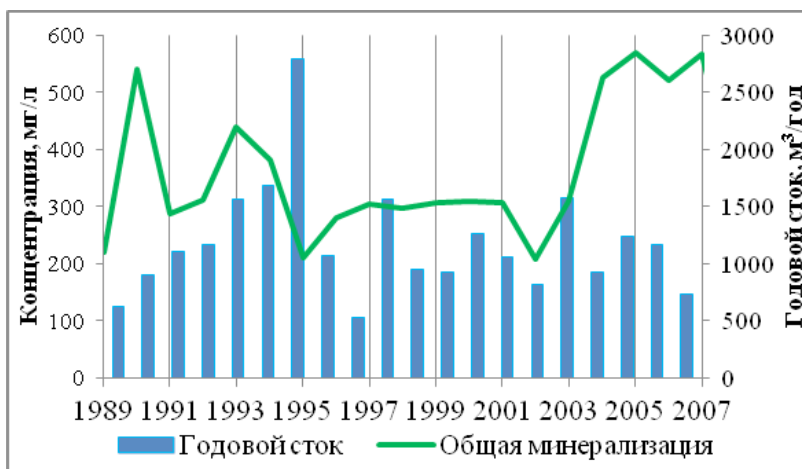


Рис. 2. Изменение минерализации речных вод в бассейне Оки

Химические параметры позволяют охарактеризовать не только качество вод, но и оценить обеспеченность водных объектов питательными веществами, установить степень загрязненности воды, выявить источники загрязнения, определить соответствие воды требованиям конкретных водопользователей [9].

Химический состав воды р. Оки изменяется вниз по течению, что можно проследить по трем характерным участкам: первый – от истока до устья р. Угры, второй – от устья р. Угры до г. Муром и третий – ниже г. Муром до устья. Первый участок в верховьях р. Оки отличается значительным влиянием на химический состав речной воды подземных вод карбонатных отложений девона из-за глубоких врезов речных долин. Поэтому активное дренирование известняков обуславливает здесь значительную минерализацию речных вод [10].

На втором участке сначала происходит снижение минерализации под влиянием вод чистых рр. Угры, Протвы, Нары и др., но ниже по течению, после впадения загрязненных вод рр. Москвы, Протвы, Мокши, наблюдается постепенное ее увеличение (до 600 мг/дм³). Третий участок отличается повышением общей минерализации (до 700–800 мг/дм³) под влиянием близко залегающих в этой части бассейна отложений карбонатных пород с гипсом пермской системы. Следовательно, в естественных условиях минерализация вод р. Оки от истока до г. Мурома изменяется от 250 до 600 мг/дм³, и только на участках активного дренирования подземных вод она в отдельные годы достигает 700–800 мг/дм³. В связи с ростом минерализации воды ниже г. Мурома в годы низкой водности (примерно с 2007 г.) содержание в ней сульфатов превышало 100 мг/дм³, достигая иногда 180–265 мг/дм³. Повышенная минерализация вод и обогащение их сульфатами, а также соединениями железа, марганца, меди и гумусовых веществ в основном обусловлено широким развитием карбонатных пород и заболоченностью водосборов самой р. Оки и ее притоков [10].

По химическому составу воды гидрокарбонатно-кальциевые. Однако ниже г. Рязани и до устья в связи с уменьшением содержания HCO_3^- происходит увеличение содержания ионов SO_4^{2-} до 15–20% экв. в низовьях (г. Н. Новгород). Содержание хлоридов также возрастает вниз по течению от 1.5–5% экв. в верховьях до 4–7% экв. (г. Муром). Среди катионов явно выражено преобладание Ca^{2+} (до 35% экв.).

Цветность воды в период половодья изменяется от 35 до 80° за счет поступления с тальми водами органических веществ, а перманганатная окисляемость воды весной повышается до 20 мгО/дм³. Наименьшая цветность (15–25°) отмечается в период зимней межени, а перманганатная окисляемость изменяется в пределах 2–8 мгО/дм³. Содержание растворенного кислорода в период половодья близко к насыщению, в период летней межени составляет около 90%, а в зимнее время – 10–18%.

Реакция воды слабощелочная. Величина pH в течение года не превышает 8.3, при наибольших значениях в летний период и наименьших – весной. Количество иона железа непостоянно и изменяется весной от 0.10 до 3.00 мг Fe/дм³, а в летнюю и зимнюю межень от 0.02 до 0.50 мг Fe/дм³. Содержание в воде хлоридов, сульфатов, азота нитратного и никеля не превышают ПДК во всех пунктах наблюдений. Постоянное или периодическое превышение ПДК по остальным показателям рассмотрено для каждого выделенного участка реки.

Верхнее течение реки. Выше и ниже г. Орёл превышение ПДК наблюдается по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1.1–1.7 раза, БПК₅ –



1.2–1.6 раза, азоту аммонийному – 1.1–1.25, азоту нитритному – 1.2–1.65, соединениям меди – 2.0–4.0, нефтепродуктам – в 1.1–1.4 раза. В значениях концентраций наблюдаются незначительные колебания. Постоянное ежегодное превышение ПДК отмечено только по содержанию органических веществ и соединениям меди. При этом концентрации всех веществ ниже города превышают их содержание выше города.

Среднее течение реки. В створах выше и ниже г. Коломна наблюдается незначительное превышение ПДК по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1.5–2.0 раза, БПК₅ – 1.1–2.25, азоту аммонийному – в 1.5–3.3, соединениям железа – 1.3–3.0, соединениям никеля – 1.2–3.8, нефтепродуктам – в 1.2–2.4 раза. Периодические многократные превышения ПДК отмечены для азота нитритного – 1.5–5.0 раз, фенолов – 2.0–5.0 и соединений меди – 2.0–6.0 раз. Вода ниже города более загрязнена по всем ингредиентам и показателям.

Нижнее течение реки. В створах выше и ниже г. Дзержинск превышение ПДК наблюдается по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1.8–2.2 раза; БПК₅ – в 1.1–1.8, сульфатам – 1.4–1.7, азоту аммонийному – в 1.1–1.9, азоту нитритному – в 1.1–3.4, соединениям железа – в 1.1–2.1, соединениям меди – в 3.0–7.0, соединениям цинка – в 1.3–2.1 раза. Существенных различий в кратности превышения ПДК выше и ниже города не наблюдается.

Изменчивость качества воды. Под качеством воды понимается характеристика ее состава и свойств, определяющие пригодность водного объекта для конкретных видов водопользования. Качество воды обычно характеризуется физическими, химическими и бактериологическими свойствами и оказывает влияние на окружающую среду и человека. Вместе с тем, важным показателем состояния водной среды служит не только ее качество, но и степень загрязненности. Поэтому динамика химического состава и качества воды на различных участках реки заслуживает особого внимания.

Анализ многолетней гидрохимической информации выявляет определенные тенденции в динамике степени загрязненности воды с 2000 по 2013 гг. Наименее загрязнено верхнее течение реки. Однако за многолетний период в районе г. Орёл качество воды изменилось от «слабо загрязненной» (2-й класс) до «очень загрязненной» (3-й класс, разряд «б»). Характерными загрязняющими веществами, частота превышения ПДК которых более 50% случаев, в этом случае служили медь, азот нитритный, органические вещества (по показателям БПК₅ и ХПК).

Далее по течению реки качество воды ухудшается и у г. Коломна характеризуется как «грязная» (4-й класс, разряд «а, б»). При этом происходит

увеличение количества характерных загрязняющих веществ за счет фенолов, трудноокисляемых органических веществ и соединений железа. Это наиболее загрязненный участок реки, поскольку в среднем течении Ока протекает по Московской области и испытывает высокую антропогенную нагрузку (демографическую и техногенную). В нижнем течении реки у г. Дзержинск вода также характеризуется как «грязная» (4-ым класс, разряд «а»), характерные загрязняющие вещества – соединения меди, азот нитритный и аммонийный, трудно- и легкоокисляемые органические вещества (табл. 1) [11].

Таблица. 1. Характеристика качества воды на различных участках реки Ока (2000–2013 гг.)

| Показатели качества воды | Верхнее течение – г. Орёл | Среднее течение – г. Коломна | Нижнее течение – г. Дзержинск |
|-----------------------------------|--|--|--|
| Класс качества воды | Меняется от 2-го («слабо загрязненная») к 3 «б» («очень загрязненная») | Стабильно 4 «а» и «б» («грязная») | Стабильно 4 «б» («грязная») |
| Характерные загрязняющие вещества | Cu, NO ₂ ⁻ , БПК ₅ , ХПК | Cu, Fe, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , фенолы, БПК ₅ , ХПК | Cu, NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , БПК ₅ , ХПК |

Изменчивость качества воды за более длительный период показывает, что в целом для р. Оки приоритетными ЗВ служат соединения меди, цинка, свинца, органических веществ (по БПК₅), азот нитритный с повторяемостью превышений ПДК 56–100%. Среди ЗВ преобладает медь со среднегодовым содержанием 4 ПДК, цинк, азот нитритный и аммонийный, органические вещества (ОВ) со среднегодовыми концентрациями 1–1.6 ПДК (по БПК₅). При этом максимальные концентрации достигали по соединениям меди – 8 ПДК, азоту нитритному – 7 ПДК, соединениям цинка – 4 ПДК, азоту аммонийному, нефтепродуктам – 3 ПДК, сульфатам, ОВ (по БПК₅), соединениям железа, марганца, свинца, фенолам – 1.3–2 ПДК. В устье Оки максимальная концентрация соединений меди достигает 15 ПДК, цинка – 9 ПДК, азота аммонийного, азота нитритного, соединения железа, марганца – 4 ПДК, органических веществ (по БПК₅) и нефтепродуктов – 3 ПДК, сульфатов – 2 ПДК, свинца – 1.8 ПДК, никеля – 1 ПДК [10].

Качество воды в целом в бассейне Оки варьирует от 3 класса «загрязненная» до 4 класса «грязная». Однако резких изменений в динамике показателей качества речных вод не установлено. От истока к устью наблюдается некоторое ухудшение качества воды в соответствии с увеличением УКИЗВ, но направленных тенденций в многолетнем изменении



УКИЗВ и ККВ не выявлено. Загрязнение поверхностных вод бассейна Оки связано с повышенным содержанием соединений азота, фосфора, органических веществ (по БПК₅ и ХПК). Повышенное содержание указанных и прежде всего биогенных элементов в водах малых и средних рек бассейна обычно обусловлено естественными условиями формирования речного стока и антропогенной нагрузкой промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Проведена классификация качества воды отдельных участков р. Ока и ее притоков на основании анализа и комплексной оценки уровня загрязненности воды в последние десятилетия: верхнем течении реки характеризуется как «загрязненная», но на территории Московской области и на участке от г. Рязань до устья как «грязная», а в отдельные годы как «загрязненная». Динамика уровня загрязненности воды в 2000-е годы по сравнению с предыдущим десятилетием свидетельствует об улучшении качества воды в верхнем течении реки от «грязной» до «загрязненной», но на территории Московской области и в нижнем течении в последние годы состояние воды ухудшается до «грязной» и «очень загрязненной». Процентное соотношение случаев превышения ПДК наиболее распространенных ЗВ в поверхностных водах бассейна Оки показано на рис. 3 [10].

Вода притоков Оки на территории Рязанской, Владимирской, Ивановской, Нижегородской областей и республики Мордовии характеризовалась как «грязная», реже как «загрязненная». Качество воды рек Тамбовской области (р. Цна и др.) снизилось до уровня «загрязненной» и даже «грязной» под влиянием неочищенных сточных вод г. Тамбов. Низкое качество поверхностных вод бассейнов рр. Москва и Клязьма обусловлено высокой антропогенной нагрузкой на речные экосистемы.

Несмотря на некоторое уменьшение в последние десятилетия сброса сточных вод, состояние качества воды отдельных рек бассейна остается напряженным. Наиболее высокой степенью загрязнения отличается бассейн р. Москвы за счет влияния мегаполиса Москвы и других городов на берегах реки, общий объем сточных вод которых превышает среднегодовой сток [1].

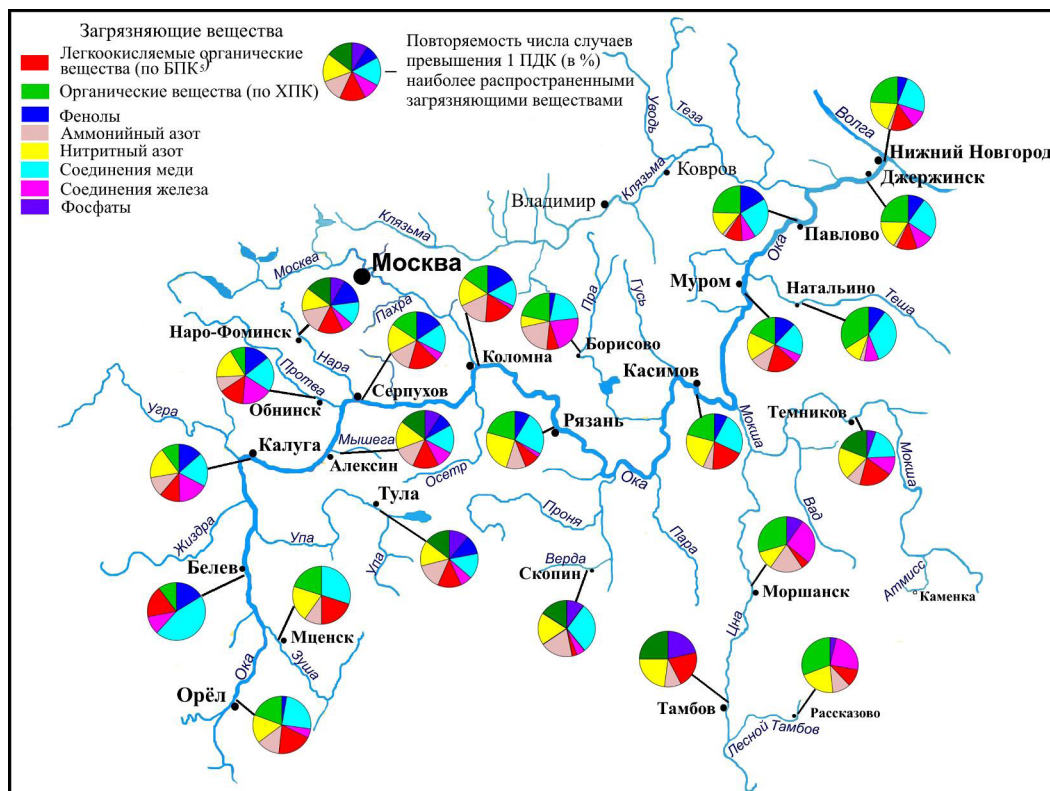


Рис. 5. Повторяемость случаев превышения 1 ПДК наиболее распространенными загрязняющими веществами в поверхностных водах бассейна Оки

Воды р. Москвы характеризуются сравнительно высокой степенью загрязненности соединениями азота, фосфатами, органическими веществами (по BPK₅, ХПК), соединениями меди и железа. Содержание этих веществ в черте г. Москвы выше по сравнению с верхним течением. Ниже по течению (гг. Воскресенск–Коломна) загрязненность воды несколько ниже, но достаточно высока. Внутригодовое распределение аммонийного и нитритного азота, ЛООВ, ХПК в верховьях Москвы колеблется в узком диапазоне концентраций, но ниже д. Нижнее Мячково вплоть до устья амплитуда колебаний этих веществ резко возрастает. По состоянию на 2011 г. резко увеличилось соединений азота (в 6–18 раз), фосфатов (в 3–9 раз), нефтепродуктов (до 3 раз). После сброса сточных вод г. Москвы максимальные концентрации этих ингредиентов отмечается в летние месяцы и октябре-ноябре, минимальные – нитритного азота в апреле (0,110–0,140 мг/л), аммонийного – в августе (1,20–2,50 мг/л). Межсезонные колебания концентраций соединений железа наблюдаются по



всему течению р. Москва от минимальных значений в августе-сентябре (0,08–0,23 мг/л) до максимальных в декабре-январе (0,51–0,72 мг/л). В последнее десятилетие концентрации фосфатов выше норматива встречались до 100% отобранных проб, нитритного и аммонийного азота – до 70–90 и 25–50% соответственно [10].

На качество воды **р. Клязьмы** существенное влияние оказывают сточные воды Московской и Владимирской областей, объем которых только в 2011 г. составил 124.1 и 57.8 млн. м³ соответственно. Такие загрязняющих веществ воды реки как аммонийный и нитритный азот, органические вещества (по БПК₅ и ХПК), соединения меди, железа, фенолы превышают ПДК от 3–5 до 1–2 в последние десятилетия. Вниз по реке наблюдается некоторое снижение среднегодового содержания ЗВ и сужается диапазон их внутригодового колебания. Однако в отдельные годы происходит рост случаев высокого загрязнения воды реки в Московской области нитритным азотом от 46 до 62%. За многолетний период превышение ПДК соединениями железа по длине реки происходит в 40–100% отобранных проб. Максимальные концентрации железа наблюдаются в районе г. Владимир до 3.54 мг/л. За многолетний период проявляется тенденция снижения содержания железа в воде реки. Загрязненность фосфатами выше норматива также проявляется в течение последних десятилетий по всей длине реки, снижалась к устью. Наиболее высокий уровень содержания фосфатов характерен для реки ниже г. Щелково, где сброс сточных вод города приводит к наиболее высокой загрязненности воды. Здесь проявляет себя многолетний тренд увеличения концентраций соединений азота и ОВ [10].

Гидрохимическое состояние и загрязнение подземных вод

Подземные воды на территории бассейна по своему качеству не вполне соответствуют питьевым нормам. Наиболее часто превышения ПДК связано с ингредиентами природного происхождения – это, прежде всего, содержание железа и показателя общей жёсткости, а также на значительных площадях не соответствуют нормам концентрации фтора, стронция, кремния, марганца, лития, общей альфа-радиоактивности. Наряду с этим, в районах интенсивного водоотбора подземных вод за счёт изменения их гидродинамического режима происходит усиление растворения водовмещающих пород и подтягивание природных некондиционных вод. В районах развития региональных депрессионных воронок на территории Московской и Тульской областей и в районах областных центров (Воронеж, Калуга, Белгород, Курск и др.) наблюдаются

повышенные и даже высокие концентрации многих природных элементов.

Загрязнение подземных вод обычно связано с коммунальными, техногенными и сельскохозяйственными объектами. Масштабы и степень загрязнения в значительной степени зависит от региональной естественной защищённости подземных вод, связанной с присутствием в зоне аэрации и кровле эксплуатируемых горизонтов обогащенных органикой почв и слабопроницаемых глинистых отложений. В вязи с этим техногенное загрязнение наблюдается, прежде всего, в верхних водоносных горизонтах четвертичного и неоген-четвертичного возрастов, особенно на участках без организации зон санитарной охраны.

Загрязнения выявлены и в пределах других областей по результатам гидрохимического опробования водозаборов, они обычно носят очаговый характер. Загрязнение охватывает практически все эксплуатационные горизонты и связаны в основном с ЗВ из шламонакопителей, золоотвалов, нефтебаз, полигонов промтоходов (свыше 50% участков), а также с крупными птицеводческими и животноводческими комплексами (свыше 20% участков). С объектами коммунального хозяйства (полигоны ТБО, очистные сооружения, поля фильтрации и др.) связаны свыше 10% участков загрязнения. На территории бассейна основными ЗВ служат соединения азота (50%), нефтепродукты (8%), хлориды, сульфаты. Среди многочисленных водозаборов на подземные воды свыше 950 не соответствуют стандартам качества на питьевую воду, и это количество ежегодно возрастает. Большинство участков загрязнения подземных вод расположены на территории или вблизи крупных промышленных центров и установлены на территории Московской (280), Воронежской (122) и Курской (28) областей. Источники (15%), тяжелые металлы (11%), фенолы (5%). Интенсивность загрязнения в большинстве случаев составляет 1–10 ПДК (свыше 53%), в пределах 10–100 ПДК (около 30%), для 15% участков ПДК превышают 100.

Только в Рязанской области более 3.5 тыс. скважин эксплуатируют подземные воды каменноугольных и девонских отложений. Качество подземных вод в основном соответствует питьевым стандартам. Однако в ряде водозаборов выявлено превышение норм ПДК по железу общему, магнию, марганцу и цинку [3]. Кроме того, к распространенным ЗВ с превышением ПДК относятся также азотсодержащие соединения, что может говорить о загрязнении подземных вод ОВ. Со стоками промышленных предприятий в источники водоснабжения часто попадают тяжелые металлы.



Рис. 4. Динамика минерализации подземных вод в пределах Рязанской области

Заключение

Химический состав природных вод бассейна р. Оки в естественных условиях зависит от ландшафтно-климатических условий водосборов рек и состава водовмещающих пород водоносных горизонтов и помимо этого определяется сменой генетических составляющих водного стока, его гидрологических фаз и влажности лет. Анализ многолетней динамики качества природных вод бассейна не выявил определенных тенденций. Верховья реки и ее участки вблизи малонаселенных пунктов отличаются практически отсутствием антропогенного загрязнения. Однако по мере роста населения и антропогенной нагрузки на водные объекты степень загрязненности речных вод в большинстве пунктов наблюдений в последние годы характеризуется различными разрядами 3-го и 4-го класса качества, а в пределах больших экономически развитых городов даже 5 классом качества в отдельные годы.

Состояние качества воды отдельных рек бассейна остается напряженным. Наиболее высокой степенью загрязнения отличается бассейны рр. Москва и Клязьма за счет влияния мегаполиса Москвы и предприятий Московской и Владимирской областей, сточные воды которых превышает среднегодовой сток рек.

Проведена классификация качества воды отдельных участков р. Ока и ее притоков на основании анализа и комплексной оценки уровня загрязненности воды в последние десятилетия: верхнее течение реки характеризуется как «загрязненная», но на территории Московской области и на участке от г. Рязань до устья как «грязная». Пространственная изменчивость напрямую зависит от уровня антропогенной нагрузки на конкретный участок водотока, поэтому территория Московской области нижнее течение в последние годы состояние воды ухудшается до «грязной» и «очень загрязненной».

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01262).

Литература

1. Абрамова, Е.А. (2011). Оценка уровня антропогенной нагрузки на бассейн реки Оки в пределах Московской области. Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета», /2/ География. С. 20.
2. Богданова, Э.Г., Мещерская, А.В. (1998). Оценка влияния потерь на смачивание на однородность рядов годовых сумм осадков. Метеорология и гидрология, №11. С.88–99. 2.
3. Геолого-гидрогеологические условия Рязанской области. Геоцентр-Москва. Доступно по ссылке: <http://geocentr-msk.ru/content/view/191> (дата обращения: 25.08.2016).
4. Гришанова, Ю. С., Решетняк, О. С. (2015). Оценка влияния крупного города на качество воды реки Ока (на примере г. Дзержинск). *Актуальные проблемы наук о Земле. Сб. тр. научн. конф. студ. и мол. ученых с межд. участием*. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, С. 335-337.
5. Губарева, Т.С., Гарцман, Б.И., Шамов, В.В. и др. (2015). Разделение гидрографа стока на генетические составляющие. Метеорология и гидрология. № 3. С. 97–108.
6. Зенин, А.А. (ред.) (1988). *Гидрохимический словарь*. Л.: Гидрометеиздат, 240с.
7. Методические указания РД 52.24.643-2002, (2003). Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 49 с.
8. Никаноров, А.М. (2011). *Региональная гидрохимия*. Ростов-н/Д: Изд-во «НОК»,. 388 с
9. Никаноров, А.М. (2015). *Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии*. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, 735 с.
10. Никаноров, А.М., (ред.) (2016). *Динамика качества поверхностных вод крупных речных бассейнов Российской Федерации*. Ростов-н/Д: Изд-во ГХИ, 294 с.
11. Решетняк, О.С., Лямперт, Н.А., Гришанова, Ю.С. (2015). Пространственная изменчивость химического состава и качества воды р. Ока. *Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод»*. Ростов-на-Дону, с. 278-282.
12. Яблоков, Ю. Е. (ред.) (1973). *Ресурсы поверхностных вод СССР*. Том 10. Верхне-Волжский район. Часть 1; Л.: Гидрометеиздат, 478 с.
13. Джамалов, Р.Г., Фролова, Н.Л. (ред.) (2015). *Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: формирование, распределение, использование*. М.: ГЕОС. 320 с.
14. Pinder, G. F., Jones, J. F. (1969). Determination of the Groundwater Component of Peak Discharge from the Chemistry of Total Runoff. *Water Resources Research* . V. 5 № 2. P. 438 –445.
15. Carey, S.K., Quinton, W.L. (2005). Evaluating runoff generation during summer using hydro-metric, stable isotope and hydrochemical methods in a discontinuous permafrost alpine catchment. *Hydrological Processes*. V.19. P. 95–114.
16. Kirchner, J.W. (2003). A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. *Hydrological Processes*. V. 17. P. 871–874.

References

1. Abramova, E.A. (2011). Ocenka urovnja antropogennoj nagruzki na bassejn reki Oki v predelah Moskovskoj oblasti. Jelektronnyj zhurnal «Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo



- universiteta», /2/ География. S. 20. [Estimation of the level of anthropogenic impact on the Oka river basin within the Moscow Region].
2. Bogdanova, Je.G., Meshherskaja, A.V. (1998). Ocenka vlijanija poter' na smachivanie na odnorodnost' rjadov godovyh summ osadkov. Meteorologija i gidrologija, №11. S.88–99. 2. [Estimation of the influence of wetting losses on the homogeneity of the series of annual precipitation amounts].
3. Geologo-gidrogeologicheskie uslovija Rjazanskoj oblasti. Geocentr-Moskva URL: Geologo-gidrogeologicheskie uslovija Rjazanskoj oblasti (data obrashhenija: 25.08.2016). [Geological and hydrogeological conditions of the Ryazan Region].
4. Grishanova, Ju. S., Reshetnjak, O. S. (2015). Ocenka vlijanija krupnogo goroda na kachestvo vody reki Oka (na primere g. Dzerzhinsk). Aktual'nye problemy nauk o Zemle. Sb. tr. nauchn. konf. stud. i mol. uchenyh s mezhd. uchastiem. Rostov-n/D: Izd-vo JuFU, S. 335-337. [Estimation of the influence of a large city on the quality of the Oka river water (based on the example of the city Dzerzhinsk)].
5. Gubareva, T.S., Garcman, B.I., Shamov, V.V. i dr. (2015). Razdelenie gidrografa stoka na genicheskie sostavljajushhie. Meteorologija i gidrologija. № 3. S. 97–108. [Separation of the hydrograph into genetic components.].
6. Zenin, A.A. (red.) (1988). Gidrohimicheskij slovar'. L.: Gidrometeoizdat, 240s. [Hydrochemical dictionary].
7. Metodicheskie ukazanija RD 52.24.643-2002. (2003). Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryzannosti poverhnostnyh vod sushi po gidrohimicheskim pokazateljam. SPb.: Gidrometeoizdat, . 49 s. [The method of comprehensive assessment of the pollution rate of surface water using hydrochemical indicators.].
8. Nikanorov, A.M. (2011). Regional'naja gidrohimija. Rostov-n/D: Izd-vo «NOK»,. 388 s [Regional hydrochemistry].
9. Nikanorov, A.M. (2015). Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrohimii i gidrojekologii. Rostov-n/D: Izd-vo JuFU, 735 s. [Fundamental and applied problems of hydrochemistry and hydroecology.].
10. Nikanorov, A.M., (red.) (2016). Dinamika kachestva poverhnostnyh vod krupnyh rechnyh bassejnov Rossijskoj Federacii. Rostov-n/D: Izd-vo GHI, 294 s. [Dynamics of surface water quality in large river basins of the Russian Federation.].
11. Reshetnjak, O.S., Ljampert, N.A., Grishanova, Ju.S. (2015). Prostranstvennaja izmenchivost' himicheskogo sostava i kachestva vody r. Oka. Materialy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Sovremennye problemy gidrohimii i monitoringa kachestva poverhnostnyh vod». Rostov-na-Donu, s. 278-282. [Spatial variability of the chemical composition and water quality of the river. Oka.].
12. Jablov, Ju. E. (red.) (1973). Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Tom 10. Verhne-Volzhsnij rajon. Chast' 1; L.: Gidrometeoizdat, 478 s. [Surface waters of the USSR.].
13. Dzhamalov, R.G., Frolova, N.L. (red.) (2015). Sovremennye resursy podzemnyh i poverhnostnyh vod Evropejskoj chasti Rossii: formirovanie, raspredelenie, ispol'zovanie. M.: GEOS. 320 s. [Current resources of underground and surface water of the European part of Russia: formation, distribution, using.].
14. Pinder, G. F., Jones, J. F. (1969). Determination of the Groundwater Component of Peak Discharge from the Chemistry of Total Runoff. *Water Resources Research* . V. 5 № 2. P. 438 –445.
15. Carey, S.K, Quinton, W.L. (2005). Evaluating runoff generation during summer using hydrometric, stable isotope and hydrochemical methods in a discontinuous permafrost alpine catchment. *Hydrological Processes*. V.19. P. 95–114.
16. Kirchner, J.W. (2003). A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. *Hydrological Processes*. V. 17. P. 871–874.