

УДК 556.51:502.5

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАСЕЙНА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УРАЛ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

© 2013 г. В. М. Павлейчик, Ж. Т. Сивохип

Институт степи УрО РАН

460000 Оренбург, ул. Пионерская, 11

E-mail: orensteppe@mail.ru

Поступила в редакцию 30.06.2011 г.

Проведен анализ природных условий и антропогенных факторов формирования эколого-гидрохимической ситуации в реках верхней части бассейна р. Урал. Перенос загрязняющих веществ частично происходит в условиях затрудненного водообмена, обусловленных строением русел рек и регулированием стока. Проведенные исследования подтверждают неравномерность концентрации тяжелых металлов в речной воде в различные сезоны года, преимущественно связанную с различиями в показателях речного стока. Продолжительность и интенсивность техногенного воздействия привели к значительному ослаблению параметров устойчивости речных систем.

Ключевые слова: загрязняющие вещества, тяжелые металлы, сезонная миграция, регулирование стока, характер проточности, внутрибассейновые сектора, устойчивость

DOI: 10.7868/S032105961304010X

При образовании и развитии крупных промышленных центров часто возникает проблема их гарантированного обеспечения водными ресурсами и электроэнергией, что частично решается созданием водохранилищ многолетнего регулирования. Крупные водохранилища также осуществляют функции регулирования сезонного стока, способствуют ведению рыбо-промыслового хозяйства, обеспечивают водой сельскохозяйственное производство и пр. При регулировании стока водно-речные экосистемы фрагментируются на участки со свободным стоком, разделенные слабопроточными водоемами. Подобная трансформация стока сопровождается загрязнением воды промышленными и коммунальными отходами, что в конечном итоге приводит к негативным экологическим ситуациям.

Интенсивное промышленное освоение территории Южного Зауралья, охватывающего и бассейн верхнего течения р. Урал, привело к формированию аналогичных проблем. Данные по гидрологии, гидрохимии и экологии за длительный

период хозяйственного освоения региона позволяют достоверно оценить современное состояние и выявить тенденции развития водно-речных экосистем, осветить вопросы их экологической устойчивости.

Современная гидрохимическая ситуация, сложившаяся в бассейне верхнего течения р. Урал, определяется сочетанием специфических особенностей естественного природного фона и значительного техногенного преобразования ландшафтов (рис. 1).

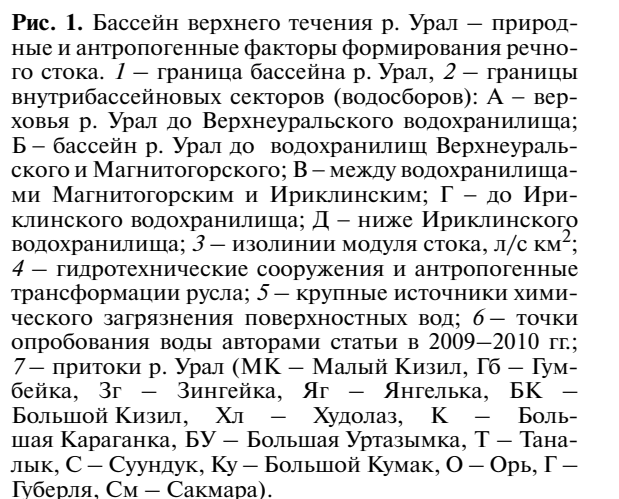
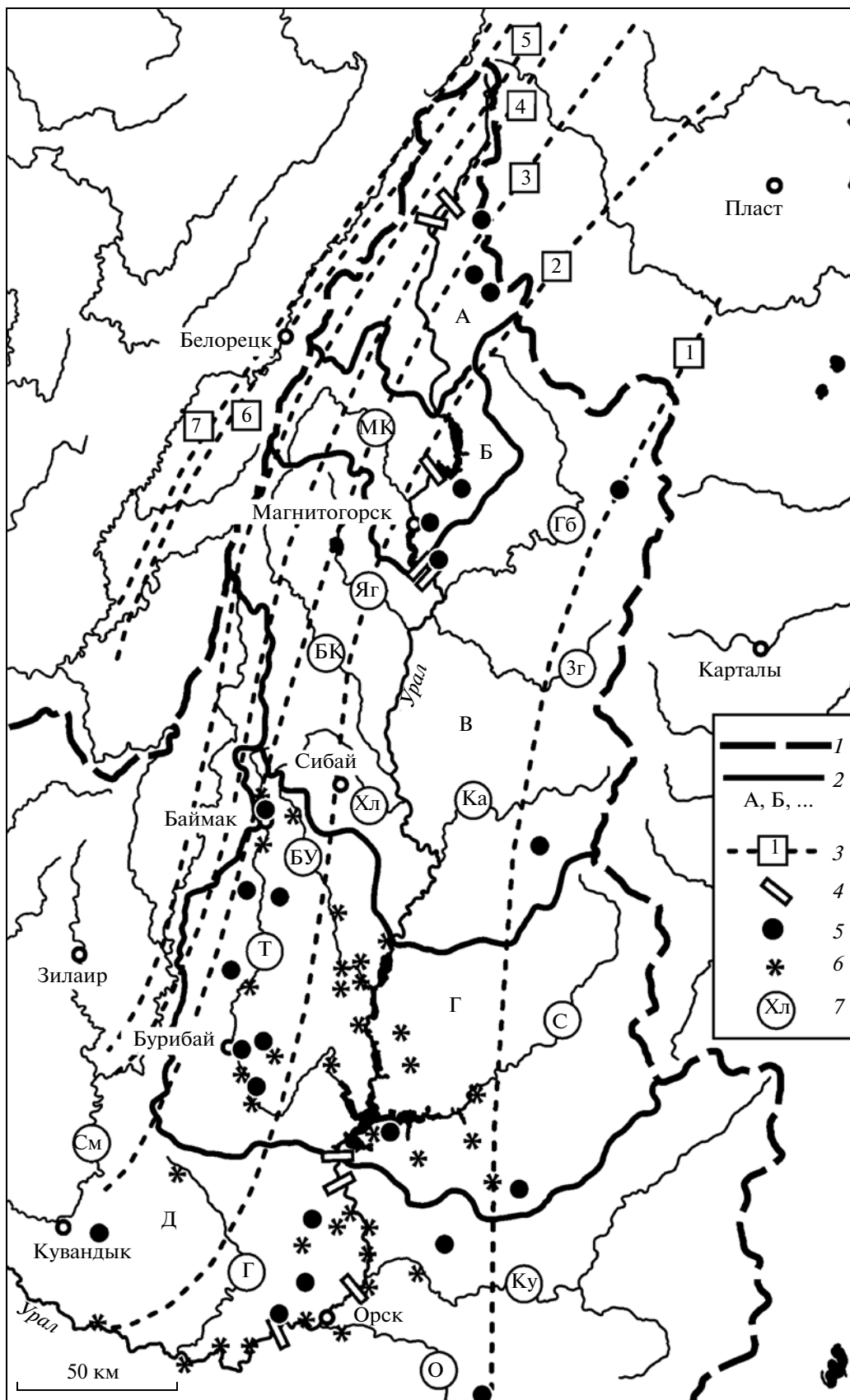


Рис. 1. Бассейн верхнего течения р. Урал – природные и антропогенные факторы формирования речного стока. 1 – граница бассейна р. Урал, 2 – границы внутрибассейновых секторов (водосборов): А – верховья р. Урал до Верхнеуральского водохранилища; Б – бассейн р. Урал до водохранилищ Верхнеуральского и Магнитогорского; В – между водохранилищами Магнитогорским и Ириклинским; Г – до Ириклинского водохранилища; Д – ниже Ириклинского водохранилища; 3 – изолинии модуля стока, л/с км²; 4 – гидротехнические сооружения и антропогенные трансформации русла; 5 – крупные источники химического загрязнения поверхностных вод; 6 – точки опробования воды авторами статьи в 2009–2010 гг.; 7 – притоки р. Урал (МК – Малый Кизил, Гб – Гумбейка, Зг – Зингейка, Яг – Янгелька, БК – Большой Кизил, Хл – Худолаз, К – Большая Караганка, БУ – Большая Уртазымка, Т – Таналык, С – Суундук, Ку – Большой Кумак, О – Орь, Г – Губерля, См – Сакмара).

¹ Статья выполнена в рамках проектов №12-С-5-1001 “Трансграничные речные бассейны в азиатской части России: комплексный анализ состояния природно-антропогенной среды и перспективы межрегиональных взаимодействий” и № 12-Т-5-1005 “Современное состояние, тенденции развития и параметры экологической устойчивости геосистем Заволжско-Уральского региона”.



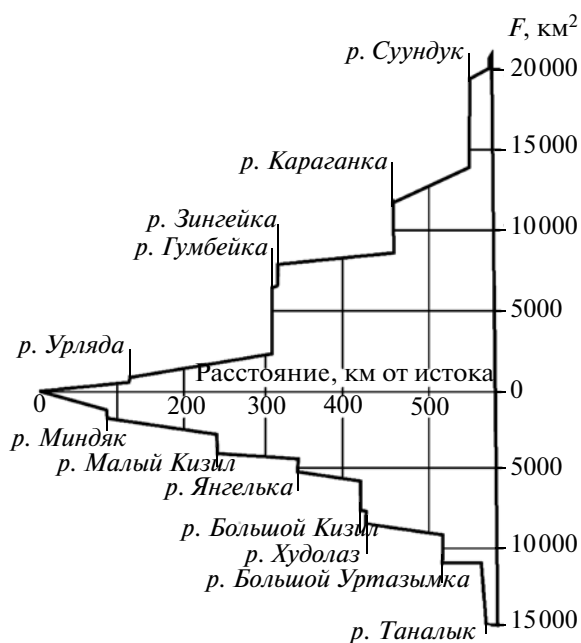


Рис. 2. Площади водосборов притоков р. Урал до Ириклинского водохранилища.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ

Верхний участок долины р. Урал характеризуется меридиональной направленностью и имеет разветвленную гидрографическую сеть. Наиболее крупные притоки — реки Миндяк, Малый Кизил, Большой Кизил, Янгелька, Худолаз, Большая Уртазымка, Таналык (правые притоки), Гумбейка, Зингейка, Большая Караганка, Суундук (левые притоки). Ниже створа Ириклинского водохранилища в Урал слева впадают два крупных притока — Большой Кумак и Орь. Долина р. Урал имеет асимметричное строение, наиболее обширные водосборы — у левобережных притоков (рис. 2).

Для рассматриваемой части бассейна характерна маловодность — модуль стока на большей части территории составляет 1–2 л/с км². Анализ данных за 1948–2010 гг. свидетельствует о неравномерности объемов стока р. Урал в различные годы и о тенденции постепенного увеличения среднегодовых показателей за рассматриваемый период. Весенний сток обычно составляет 65–80% годового, иногда достигая 90%. Летне-осенние паводки нерегулярны и по высоте уступают весеннему половодью, объем которого составляет от 0.09 до 3.86 км³ [4].

Погодно-климатические и гидрологические условия в 2009 и 2010 гг. (период наблюдений авторов) были сходны и отличались от таковых в

предыдущие годы засушливостью и маловодностью рек. Ситуация усугублялась значительной предполоводной подготовкой Ириклинского водохранилища в марте, что привело к слабой наполняемости ложа и минимальным попускам воды в последующие месяцы. В результате среднегодовой сток в 2009 и 2010 гг. составил около 25% от среднемноголетнего. В различные месяцы объем стока р. Урал составлял от 14–24 (весенне-летний период) до 71–73% (зимний) от соответствующих среднегодовых значений за последние 10 лет.

Сходная гидрологическая ситуация наблюдалась и на обследованных притоках Таналык и Большая Уртазымка, среднегодовой сток в 2009 и 2010 гг. составил около 35% от среднемноголетнего. Так, в р. Таналык (с. Самарское) объемы стока варьировали в 2009 г. от 0.14 до 3.42 м³ при среднегодовых показателях 0.97 м³, а в р. Большая Уртазымка (с. Сосновка) — от 0.13 до 3.71 м³ при среднегодовых значениях в 0.61 м³.

Минерализация воды р. Урал — в основном средняя и испытывает сезонные колебания от 100–250 мг/л в весеннее половодье до 400–600 мг/л и более в подледный период. В целом рассматриваемая часть бассейна относится к районам с преобладанием рек гидрокарбонатного состава с общей минерализацией до 200–250 мг/л [1]. Формирование поверхностного стока и химического состава вод происходит в разнообразных геолого-геоморфологических и геохимических условиях [4]. Самые слабоминерализованные воды характерны для низкогорных участков водосборной территории, с продвижением на юг вниз по течению минерализация увеличивается. Максимальной концентрацией солей характеризуются восточные притоки р. Урал (Бурля, Суундук, Ташла и др.) в связи с тем, что они обогащаются солями мезозойских кор выветривания и неогеновых (палеоценовых) загипсованных глин.

Крайняя западная часть бассейна занимает восточный склон хребта Уралтау и краевой хребет Ирендык. Центральная и практически вся восточная части, относящиеся к зоне Магнитогорского прогиба, на поверхности представлены полого-волнистыми равнинами, имеющими ярусное строение. Наибольшее распространение здесь получили отложения девонского и каменноугольного возраста, представленные разнообразными породами вулканогенного комплекса, флишоидными и карбонатными породами [3]. С интрузиями магматических пород, прорывающими осадочные и вулканические породы, генетически связаны месторождения магнетитовых руд

Таблица 1. Основные показатели наиболее крупных водохранилищ на р. Урал

Водохранилище	Площадь водосбора, км ²	Полный объем, млн м ³	Площадь зеркала при НПУ, км ²	Гарантированная отдача (P = 95%), млн м ³
Верхнеуральское	4280	601	75.5	158
Магнитогорское	6420	32	31.6	60
Ириклинское	36900	3260	260	643.4

(Магнитогорское, Малый Куйбас). В девонское время вулканические процессы, происходившие на дне палеоокеана, способствовали образованию залежей медно-цинково-колчеданных руд (месторождения Учалинское, Сибайское, Молодежное, Александринское, Подольское, Узельгинское, Гайское, Летнее, Осеннее, Барсучий Лог, Джусинское, Еленовское и др.). На междуречных пространствах коренные породы часто покрыты рыхлыми накоплениями (корой выветривания) мезозойского пенеплена. Таким образом, литологическое разнообразие способствует формированию сложной эколого-геохимической обстановки на территории, а интенсивная разработка рудных месторождений вносит существенный вклад в современное загрязнение поверхностных и подземных вод.

С конца XIX в. по настоящее время на различных участках Южного Зауралья на приисках и рудниках добывалось золото из россыпных и коренных месторождений – Таналыкского, Гадельшинского, Уртазымского, Семеновской, Кумакского, Айдырлинского, Кировского, Косые пласты и многие др. [12]. С 1920–1930-х гг. началось активное освоение медно-колчеданных руд, первые медеплавильные заводы – Баймакский и Сибайский – функционировали на рудах Сибайского медно-цинково-колчеданного месторождения до 1957 г. На базе многочисленных месторождений руд черных, цветных (медь, цинк) и драгоценных (золото) металлов в 1930–1970-х гг. создавались крупные металлургические предприятия – Магнитогорский металлургический комбинат (1932 г.), Бурибаевский (1930 г.), Гайский (1966 г.) и Учалинский (1974 г.) горно-обогатительные комбинаты (ГОК), Башкирский медно-серный комбинат (1959 г., с 2004 г. – Сибайский филиал Учалинского ГОК), позднее – обогатительные фабрики в поселках Гранитном и Фершампенуаз. Наиболее длительно действующими источниками тяжелых металлов являются отвалы вскрышных пород и шламохранилищ, образующих обширные ареалы загрязнения, поверхностный и подземный сток кислых подотвальных вод. Таким образом, в рассматриваемом районе объекты горнодобывающей и металлургической промыш-

ленности – определяющий фактор техногенной метаморфизации химического состава речной воды. Основные загрязняющие элементы – тяжелые металлы, концентрация которых увеличивается в осенне-зимний период, что связано с уменьшением объемов воды в реках.

Для гарантированного водообеспечения Магнитогорского комбината был создан каскад из двух водохранилищ – резервного Магнитогорского (1931 г.) и Верхнеуральского (1964 г.) многолетнего регулирования (табл. 1).

В период с 1958 по 1966 г. была заполнена чаша Ириклинского водохранилища с целью удовлетворения водохозяйственных потребностей Орско-Халиловского металлургического комбината, Гайского ГОК, предприятий промышленности и коммунального хозяйства г. Орска. В связи с крайней неравномерностью стока р. Урал, как в пределах года, так и в течение многолетнего периода, со строительством водохранилища решена проблема защиты городов Орска и Новотроицка от наводнений за счет срезки пиков высоких половодий [5]. Один из крупнейших потребителей воды Ириклинского водохранилища – введенная в 1970 г. в эксплуатацию Ириклинская ГРЭС.

Ириклинское водохранилище относится к водоемам с многолетним регулированием стока. Водообмен в водохранилище происходит в среднем один раз в два года (объем годового стока в среднем составляет 1.14 км³ при объеме водохранилища 3.26 км³), т. е. его режим приближается к режиму озер слабой проточности.

В течение последних 10–15 лет Республикой Башкортостан активно реализуются программы по строительству водохранилищ для целей обеспечения водой населенных пунктов, сельхозпредприятий, регулирования стока и пр. За этот период образованы крупные водохранилища: Акъярское на р. Ташла (объем 49.4 млн м³, площадь 7.8 км²), Бузавльское (19.1 млн м³, 3.07 км²), Таналыкское (14.2 млн м³, 2.01 км²) и Маканское (9.3 млн м³, 3.65 км²) на одноименных реках. На р. Урал имеются участки с расширенным руслом в результате добычи песчано-гравийной смеси (у г. Новотроицка, выше г. Орска у пос. Новоказачий и в верхо-

вях у с. Уразово), расположены буферная плотина у пос. Уральск и Ильтебановское водохранилище в верховьях объемом 4.95 млн м³.

Характер использования и состояние земельных угодий — один из важных факторов формирования стока поверхностных и подземных вод и их химического состава. Развитие промышленного производства в регионе пришлось на середину XX в. — период освоения целинных и залежных земель под зерновые культуры в Казахстане, Сибири, Поволжье и на Урале. Доля пахотных угодий в районах Южного Зауралья на настоящий момент достигает 40–50% и более. Освоение прибрежных территорий под пашни обуславливает усиление эрозии и снос почвенных компонентов в реки. Например, общая площадь земельного фонда водоохранной зоны Ириклинского водохранилища (500 м от уреза воды) составляет 23196.8 га: пашни — 2294.8, сенокосы — 520.0, пастбища — 14305.0, древесно-кустарниковые насаждения — 2923.6, сады-огороды — 70.0, неудобья и застройки — 3083.4 га [10].

При недостатке угодий под чрезмерной пастбищной нагрузкой претерпели трансформацию земли, непригодные для распашки, — элементы эрозионно-речных, холмисто-увалистых и низкогорных геосистем. Кроме того, вдоль береговой линии расположены многочисленные животноводческие фермы, сточные воды которых поступают непосредственно в водоемы. Сельскохозяйственное производство является наиболее распространенным на территории видом природопользования и вследствие этого — фактором снижения показателей поверхностного стока и источником специфических органических загрязнителей.

Таким образом, геоэкологическая ситуация в бассейне р. Урал на протяжении последних 50–60 лет складывалась в результате интенсивного промышленного и сельскохозяйственного освоения этой территории.

В настоящем исследовании использованы сведения о химическом составе вод, приведенные в [6, 7, 10, 11], данные Челябинского гидрометеоцентра [13], результаты мониторинга Управления эксплуатации Ириклинского водохранилища (УЭИВ) [10] и собственных обследований авторов в 2009–2010 гг.

ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ

В качестве примера приведем краткий анализ изменений химического состава поверхностных вод, обусловленных формированием Ириклинского водохранилища [2]. Для большинства притоков р. Урал был характерен гидрокарбонатный кальциевый натриевый состав речной воды. Урал, его притоки Уртазымка, Таналык, Ирикля (западные), р. Суундук (восточный) имели воды средней и повышенной минерализации, концентрации хлоридов и сульфатов были равнозначны. Большинство восточных притоков с повышенной минерализацией воды имели хлоридно-натриевый, а р. Соленая — хлоридно-сульфатный состав. Для р. Урал и ее притоков (кроме р. Соленой) были характерны пресные, умеренно жесткие воды с большим количеством растворенного кислорода, незначительными величинами органических веществ. В период половодья гидрохимический состав водоемов менялся — воды из жестких становились мягкими, резко падала минерализация, менялось соотношение основных ионов, реки становились типичными гидрокарбонатными.

В первый летний сезон после наполнения водохранилища наблюдался большой кислородный дефицит, связанный с окислением органического вещества свежезатопленных почв и растительности, что вызвало летний замор рыбы. К 1958 г. чаша Ириклинского водохранилища заполнилась слабо минерализованными водами весеннего половодья; затопленные почвы были выщелочены и промыты, растительность на дне разложилась. К началу 1960-х гг. степень минерализации водохранилища снизилась до 200–300 мг/л в летний период, что связано с уменьшением концентрации ионов: гидрокарбонатов — в 1.5, хлоридов и натрия — в 3, сульфатов — в 2 раза. Степень минерализации водохранилища стала ниже, чем р. Урал, уменьшаясь от верховьев к плотине.

В последующее время вплоть до настоящего состава воды характеризовался стабильным гидрохимическим составом и не претерпевал существенных изменений. Вода водохранилища стала пресная, средне минерализованная, умеренно жесткая, гидрокарбонатно-кальциевого класса. Минерализация воды в водохранилище ниже, чем в р. Урал, и уменьшается от верховьев к плотине.

Изменение сроков весеннего половодья, вызванное созданием Ириклинского водохранилища, а в дальнейшем — его ранней предполоводной подготовкой, а также массовые заморы рыбы в 1950–1960-х гг, включающие ряд маловодных лет,

привели к коренной смене структуры ихтиофауны в среднем течении Урала. Бывший ранее самым распространенным видом сазан практически не встречается в современных уловах в связи с изменением условий нереста (температурного и уровня режимов в половодье); его экологическую нишу занял серебряный карась [9]. Ириклинское водохранилище не только имеет хозяйственное значение, но и является единственным рыбопромысловым водоемом в Оренбургской области, перспективным районом рекреации и разведения различных водных видов спорта.

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНИХ И СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

В целом можно отметить, что химический состав речных вод рассматриваемого региона относительно однородный, главным поставщиком основных ионов служат горные породы водосборной территории. Для выявления особенностей миграции отдельных загрязняющих веществ проанализированы воды притоков Ириклинского водохранилища за 1999–2003 гг., выполненные в лаборатории УЭИВ. По всем притокам в зависимости от нарастания водосборных площадей наблюдается повышение общей минерализации, содержание органических загрязнений и ионов металлов. Последние имеют преимущественно техногенное происхождение, характеризуются незначительными долями, но имеют большое экологическое значение. Полностью техногенными следует считать нефтепродукты и фенолы.

Из всех приносимых реками в водохранилище металлов значительные концентрации установлены для принадлежащих халькофильной группе (Cu, Zn, Ni, V) (табл. 2) и для Fe, почти постоянное превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов наблюдается по Cu и Fe.

Основным поставщиком Cu является р. Таналык с расположенным на нем Бурибаевским ГОК, реки Большая Уртазымка и Урал. Распределение концентрации Cu по сезонам в водотоках довольно однотипно с наиболее выраженным максимумом в период половодья (апрель–май, на Таналыке – март–май) и менее значительным – перед ледоставом (октябрь, на Таналыке – октябрь–ноябрь). На водохранилище (водозабор ГРЭС) пики максимальных концентраций смещены на месяц (май и декабрь).

Zn отмечается во всех реках с постоянным превышением ПДК для рыбохозяйственных водоемов в 1.5–2 раза. Сезонные максимумы содержа-

ния Zn проявляются с февраля по май, далее до сентября показатели снижаются и вновь во всех притоках вырастают в октябре. Наибольшие его концентрации наблюдаются в реках Урал и Таналык, весеннем и осеннем пиках – 0.4–0.6 мг/л и более.

В сезонном распределении Fe, преобладающая часть которого переносится во взвешенном состоянии, прослеживается следующая закономерность – по всем притокам наблюдается волнообразное снижение его концентрации с максимума в марте по декабрь. Меньшие пики наблюдаются на реках в различные месяцы, но наиболее часто – весной и осенью, т.е. связаны с периодами увеличения расхода воды. Большую часть года Fe находится в концентрациях, превышающих ПДК в 2–2.5 раза. В результате слабой проточности в водохранилище (водозабор ГРЭС) происходит частичное осаждение Fe в осадок, его концентрации в летнее и зимнее время имеют значения, близкие к ПДК (0.1 мг/л).

Полностью техногенный компонент – нефтепродукты, значительные концентрации которых наблюдаются в водах рек Урал, Большая Уртазымка и Суундук. При этом превышение ПДК наблюдается не каждый год, а концентрации имеют большую амплитуду колебаний между отдельными сезонами и годами. В целом за период с 1990 по 2010 г. в притоках Ириклинского водохранилища наметилась тенденция к снижению их концентраций.

Содержание соединений азота практически не изменилось по сравнению с ретроспективными данными 1959 г. [2], их значения редко превышают ПДК. Улучшение ситуации наблюдается только по иону аммония – его содержание снизилось до сотых и десятых долей мг/л, а в 1959 г. оно чаще всего превышало 1 мг/л.

Интегральным показателем степени загрязнения воды органическими соединениями является биохимическое потребление кислорода (БПК) – количество кислорода, необходимое для их окисления микроорганизмами в аэробных условиях. Среднемноголетние значения БПК-5 притоков и собственно Ириклинского водохранилища практически во все сезоны года находятся в пределах 1.5–2 мг O₂/дм³, т.е. воды относятся к группе “чистых”. Вместе с тем выделяются периоды с наиболее частой встречаемостью повышенных значений – февраль–март (при минимуме растворенного кислорода), май и сентябрь (в р. Суундук – август). Постоянно повышенное загрязнение органикой наблюдается в реках Урал и Таналык, в отдельные периоды БПК-5 может достигать 3.2–

Таблица 2. Содержание Cu и Zn, мг/л, в р. Урал и его притоках Таналык и Уртазымка (июль 2009 и 2010 гг., лаборатория Института степи УрО РАН; жирный шрифт – значения, превышающие ПДК для рыбохозяйственных водоемов [8]; не опр. – не определялось)

Место и год отбора пробы	Cu	Zn
р. Урал		
пос. Уральск, Челябинская область, 2009 г.	0.00305	0.11342
выше с. Терекла, 2009 г.	0.0078	не опр.
пос. Скалистый ниже устья р. Колпачка, 2010 г.	0.00086	0.00141
с. Колпакское, 2009 г.	0.00338	0.09068
с. Колпакское, 2010 г.	0.00087	0.01967
с. Банное, 2010 г.	0.00109	0.00196
устье р. Большой Кумак, 2010 г.	0.00097	0.03556
пос. Новый Кумак, 2010 г.	0.00115	0.00211
г. Орск, 2009 г.	0.00323	0.1006
с. Хабарное, 2009 г.	0.00241	0.18618
пос. Горюн, 2009 г.	0.0025	0.14611
с. Губерля выше впадения р. Губерля, 2009 г.	0.00216	0.15494
ниже с. Подгорное, 2009 г.	0.00395	не опр.
пос. Айтуарка, 2010 г.	0.00132	0.03098
Канал Ириклинской ГРЭС,		
пос. Энергетик, 2009 г.	0.00312	не опр.
р. Таналык		
исток, 2010 г.	0.0009	не опр.
г. Баймак, 2010 г.	0.0022	не опр.
с. Бурибай–с. Акъяр, 2010 г.	0.0023	0.0148
ниже с. Акъяр, 2010 г.	0.0016	0.0020
руч. Макан (приток), 2010 г.	0.0014	0.0962
пос. Таштугай, 2010 г.	0.0017	0.0020
пос. Таштугай, 2009 г.	0.0061	0.0190
р. Большая Уртазымка		
с. Галеево, 2010 г.	0.0004	0.0012
с. Зилаир, 2010 г.	0.0016	0.0261
руч. Сосновка (приток), с. Сосновка, 2010 г.	0.0009	0.0400
перед впадением в водохранилище, 2009 г.	0.0041	0.1322
ниже руч. Сосновка, 2010 г.	0.0011	0.0324
р. Малая Уртазымка, с. Алексеевка, 2010 г.	0.0009	0.0334

3.4 мг O₂/дм³ с минимум в июле–августе. Слабопроточный режим и вертикальная стратификация воды в водохранилище не позволяют действительно нейтрализовать органические загрязнители, о чем свидетельствует взаимное соответствие значений БПК и их сезонных колебаний в водах водохранилища и его притоков.

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ ВОДООБМЕНА ВО ВНУТРИБАСЕЙНОВЫХ СЕКТОРАХ

Строительство гидротехнических сооружений обусловило трансформацию стока р. Урал из-за формирования зон затрудненного водообмена (водохранилища), чередующихся с зонами естествен-

ного речного стока. В зависимости от особенностей водообмена в каждой из этих зон формируются специфические условия для миграции, аккумуляции и преобразования загрязняющих веществ. Степень динамичности этих процессов в итоге определяется параметрами геоэкологической и гидрохимической устойчивости водно-речных комплексов.

Чередование зон с затрудненным и свободным стоком приводит к формированию внутрибассейновых водосборных секторов (сегментов) (рис. 1), дальнейшее подразделение которых можно проводить по бассейновому принципу исходя из порядка притоков.

Верховья р. Урал (рис. 1, сектор А) с притоками (реки Бирся, Миндык, Урляда, Узельга) до Верхнеуральского водохранилища занимают площадь 3490 км². Относительно благополучная ситуация наблюдается на небольшом отрезке реки выше с. Ильтебаново, где находится одноименное водохранилище. Основными источниками техногенного загрязнения являются месторождения Узельгинское в верховьях р. Узельга и Чебачье на водосборе оз. Чебачье. Исток руч. Канды-Булак находится в зоне воздействия Учалинского месторождения и ГОК.

Водосбор функционально единого каскада из Верхнеуральского и Магнитогорского водохранилищ (рис. 1, сектор Б) с притоком р. Малый Кизил имеет площадь 2990 км².

Организованный сброс загрязняющих веществ в Верхнеуральское водохранилище отсутствует. По химическому составу вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Минерализация воды в течение 2005 г. колебалась от 126 мг/л во время весеннего половодья до 280 мг/л в подледный период [13]. Среднегодовая концентрация трудноокисляемых органических веществ (по ХПК) составила 1.8 ПДК, Cu – 2.7 ПДК, Zn – 2.5 ПДК, Mn – 6.1 ПДК.

По химическому составу вода Магнитогорского водохранилища также относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция, в период весеннего половодья отмечается ее переход в сульфатный класс, группу натрия. Минерализация воды в течение 2005 г. колебалась от 154 до 563 мг/л по всей акватории водохранилища. Среднегодовые концентрации азота нитритов в предплотинной части составили 2.5 ПДК, Cu – 4.2 ПДК, Zn – 5 ПДК, Mn – 5.2 ПДК.

Обширный бассейн р. Урал между Магнитогорским и Ириклинским водохранилищами (рис. 1, сектор В) с притоками Гумбейка, Зингейка, Ян-

гелька, Большой Кизил, Худолаз, Большая Каранга занимает площадь 16380 км².

Воды большинства рек бассейна (Янгелька, Большой Кизил, Урал) относятся к гидрокарбонатному классу, группам кальция или натрия. Только в нижнем течении р. Худолаз вода относится к сульфатному классу, группе кальция. Метаморфизация химического состава этой реки обусловлена влиянием сточных вод медно-серного комбината в г. Сибай, загрязненных ионами тяжелых металлов, сульфатами, хлоридами, взвешенными веществами. Основными загрязняющими элементами являются тяжелые металлы, в первую очередь цинк, концентрация которого характеризуется высоким и экстремально высоким уровнем.

Вода р. Худолаз сильно минерализована – в меженные периоды содержание солей, по данным Челябинского гидрометеоцентра [13], составляет 1290–1530 мг/л, в период весенних половодий снижается до 859–406 мг/л. В 2001–2005 гг. содержание в воде ионов тяжелых металлов составляло: Zn – от 28 до 837 ПДК, Mn – от 28 до 170 ПДК, Cu – от 5 до 50 ПДК. Ежегодно рекой выносится от 20–30 до 100–150 т Zn с территории Башкортостана в зависимости от объемов стока (0.07–0.15 км³). Концентрация Zn в воде р. Худолаз стабильно соответствует высокому и экстремально высокому уровню загрязнения.

Перед впадением в Ириклинское водохранилище (контрольный граничный створ р. Урал в районе пос. Ершовский) вода в р. Урал характеризуется средней минерализацией и относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Показатели минерализации изменяются от 240–340 мг/л весной до 630–850 мг/л осенью. Среднегодовое содержание металлов в воде в среднем составляет: Cu – 3.0–3.4 ПДК, Zn – 2.9–3.3 ПДК, Mn – 6.2–8.3 ПДК. Во время весеннего половодья отмечались случаи максимальных превышений ПДК: азота нитритов – в 1.4, Fe общего – в 4.2 раза.

Часть долины р. Урал с реками, впадающими в Ириклинское водохранилище (Большая Уртазымка, Таналык, Суундук, Джуса и другие менее значимые притоки), имеет площадь 14090 км² (рис. 1, сектор Г).

Проведенный в июле 2010 г. анализ проб на основные ионы и тяжелые металлы подтверждает значительную техногенную метаморфизацию правобережных притоков – Таналык и Большой Уртазымки.

Таблица 3. Результаты исследований гидрохимического состава, мг/л, притоков р. Урал (июль 2009 и 2010 гг.; лаборатория Института степи УрО РАН)

Место отбора проб	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca
р. Таналык							
с. Мерясово	3.4	21.0	73.2	2.2	8.5	10.7	35.9
г. Баймак	50.6	165.3	119.0	18.2	52.7	36.6	68.9
с. Бурибай—с. Акъяр	163.6	144.9	146.4	6.8	96.2	31.6	105.3
ниже с. Акъяр	116.7	119.2	128.1	5.2	85.0	134.2	77.9
руч. Макан (приток)	744.6	612.2	109.8	7.2	551.8	73.3	194.3
с. Таштугай	125.3	111.7	109.8	1.6	89.9	70.1	81.5
р. Большая Уртазымка							
с. Галеево	2.1	20.1	82.3	3.4	8.1	9.9	34.6
с. Зилаир	158.5	206.0	100.6	10.2	129.0	36.9	88.0
руч. Сосновка (приток), с. Сосновка	182.8	126.6	91.1	1.5	100.7	34.5	83.1
ниже руч. Сосновка	158.8	122.2	100.6	2.7	97.8	32.0	74.2
р. Малая Уртазымка	183.8	121.5	118.9	0.5	167.7	25.1	65.9
р. Бурля, с. Таналык	136.0	54.7	122.0	1.3	71.4	19.9	43.4
р. Ташла, с. Гоголевка	935.1	556.2	122.0	9.3	51.7	77.2	63.6
р. Суундук, с. Кусем	152.4	108.1	152.5	1.2	85.9	27.5	44.1
р. Джуса, пос. Слюдяной	499.0	163.2	183.0	0	214.2	47.7	95.1
р. Джуса, с. Добровольское	514.2	154.4	244.0	0	219.4	48.6	104.4
р. Караганка, с. Заморское	683.9	201.9	152.5	2.1	349.2	37.8	78.9
р. Большой Кумак, г. Новоорск	70.5	61.4	152.5	1.0	53.6	14.8	36.5

В р. Таналык отмечается повышение концентрации основных ионов от истоков к приустьевой части (табл. 2, 3); практически пресная вода в верховьях Таналыка не содержит явных следов тяжелых металлов.

Попадая в техногенную зону (промышленные предприятия Баймака, Бурибая и Акъяра, разрабатываемые месторождения), вода быстро насыщается солями и ионами тяжелых металлов.

Максимальной степенью техногенной метаморфизации химического состава характеризуется левый приток р. Таналык — руч. Макан. Здесь наблюдаются превышения ПДК сульфатов, хлоридов, Zn, Pb и Cd, обусловленные разработкой Подольского медно-цинкового месторождения в верховье ручья. Ниже по течению р. Макан для ирригационных и рыбохозяйственных целей сооружено Маканское водохранилище общим объемом 9.3 млн м³.

Анализ многолетних данных подтверждает постоянно высокое загрязнение тяжелыми металлами вод р. Таналык в результате освоения месторождений и деятельности Бурибаевского ГОК. Перед впадением реки в Ириклинское водохра-

нилище (с. Таштугай) ее химический состав не претерпевает особых изменений. Так, за 1999–2003 гг. среднегодовые показатели составляли: Cu 0.003–0.004, Zn 0.013–0.015 мг/л при максимальных среднегодовых значениях соответственно 0.033 и 0.029 мг/л в 1999 г. Таким образом, буферные свойства речного комплекса не обеспечивают связывания токсичных компонентов, в том числе на нижнем протяженном (75 км) участке реки (Акъяр—Таштугай) без крупных промышленных источников загрязнения. Сходная гидрохимическая ситуация наблюдается на р. Большая Уртазымка и ее притоках.

Химический состав левобережных притоков р. Урал также характеризуется значительной неоднородностью и сезонной изменчивостью. Обширность водосборных площадей левобережных притоков, включающих сложные в геохимическом отношении районы (комплексы осадочных, карбонатных, вулканических и интрузивных пород), обуславливает повышенное содержание растворенных минеральных веществ. Значительные концентрации тяжелых металлов наблюдаются, в первую очередь, в р. Джуса, в долине которой раз-

рабатывается Джусинское медно-колчеданное месторождение.

Сравнение анализов по р. Урал, Ириклинскому водохранилищу и его притокам свидетельствует о том, что в водохранилище происходит частичное осаждение большинства загрязняющих веществ.

Ниже Ириклинского водохранилища (рис. 1, сектор Д) р. Урал на всем протяжении до устья не зарегулирована. Получены данные гидрохимического обследования по р. Урал и впадающим в нее притокам до места смены направления долины с меридионального на широтное (около г. Орск) и ниже до выхода реки из Урало-Губерлинского ущелья.

Основными источниками металлов в р. Урал являются загрязненные воды рек Колпачки и Елшанки, верховья которых дренируют отвалы Гайского месторождения, и крупных левобережных притоков — рек Большой Кумак и Орь, в водосборах которых находятся медно-колчеданные, никелевые и другие рудные месторождения.

Полученные данные свидетельствуют о том, что тренд значений концентраций металлов халькофильной группы в продольном профиле имеет волнообразный характер с максимумами на участках ниже впадения этих притоков в р. Урал, а также ниже крупного промышленного узла Орск–Новотроицк. Значительное очищение вод происходит уже на широтном участке в среднем течении р. Урал, на 60-километровом отрезке от г. Орска до пос. Айтуар — в Урало-Губерлинском ущелье, в котором чередование глубоководных плесов и перекатов позволяет нейтрализовать часть загрязняющих веществ.

Таким образом, дальность переноса загрязняющих веществ от источника по водотокам любого порядка зависит от скорости водного потока и протяженности участков реки со свободным течением. Чередование зон со слабо- и нормально-проточным течением (в меньших масштабах) напоминает продольный профиль средних и малых рек, при котором русло реки представляет собой чередование глубоких озеровидных плесов с мелководными перекатами. Принципиальным отличием является промывной режим рек в половодный период, когда русло реки частично освобождается от механических наносов и иловых накоплений, содержащих химические и органические загрязнители. Можно предположить, что подобная структура речного стока благоприятно сказывается на связывании загрязняющих веществ в относительно трудноподвижные соединения и на их частичной аккумуляции в придон-

ных илах, что косвенно свидетельствует о гидрохимической устойчивости — высокой буферной емкости речных экосистем.

Факторами, затрудняющими их перенос, являются природные участки русла либо искусственные водоемы с незначительными показателями стока. Участки реки, на которых происходит смена свободного течения на слабопроточный режим, являются гидрологическими и гидрохимическими рубежами, в них происходит частичное накопление механических аллювиальных пород и связанных малоподвижных химических и биохимических соединений.

Установление нового слабопроточного режима на водохранилищах приводит к комплексу трансформаций твердого и ионного стока рек. Например, ежегодное поступление твердого стока в Ириклинское водохранилище оценивается в 400 тыс. т, а средний ежегодный прирост мощности илов — 1.2 мм (по данным УЭИВ [10]). В верхней зоне подтопления осаждаются взвешенные механические частицы, а ниже по течению, по мере сорбции фитопланктоном и адсорбции на взвешенных частицах, — ионы металлов и других загрязняющих веществ.

В [6, 7] приводятся предварительные сведения об особенностях загрязнения тяжелыми металлами вод и донных отложений на отрезке Урала от пос. Форштадт до пос. Янгельский, включая Верхнеуральское и Магнитогорское водохранилища. Полученные результаты подтверждают выводы о сезонной неоднородности содержания тяжелых металлов в воде, связанной с колебанием водности реки, активного роста биомассы и с последствиями эвтрофикации в летний период. В связи с этим в осенний период происходит как минимум двукратное повышение концентраций металлов (Cu, Zn, Fe) во всех точках отбора проб, особенно резкий подъем отмечается на различных участках обоих водохранилищ.

Наиболее достоверная информация о трансформации химического состава в условиях регулирования стока — данные о содержании металлов в донных отложениях. По [6, 7], их содержание на том же отрезке р. Урал составляет, мг/кг (в скобках — ПДК для почвогрунтов): Fe — 40000–60000 (25 000), Mn — 1400.0–2100.0 (1500), Cd — 0.7–1.75 (1.5), Pb — 8.8–152.5 (32), Cu — 24–48 (55), Zn — 28–114 (100). Относительно ровно по всему продольному профилю распределяются Fe, Mn; максимальный разброс показателей — у Pb с наибольшим содержанием в верховьях Верхнеуральского водохранилища (152.5 мг/кг); начиная с нижней части его акватории и повсеместно ниже

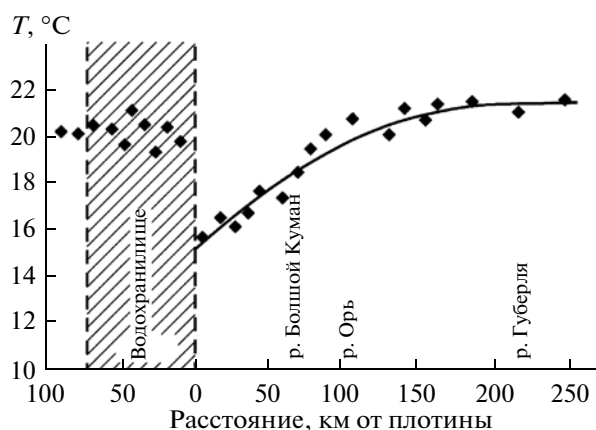


Рис. 3. Температура водной поверхности T , °C, р. Урал и Ириклинского водохранилища в июле 2009 г.

отмечается почти двукратное увеличение концентрации Cd (с 0.7 до 1.5–1.5 мг/кг), прочно адсорбированного тонкодисперсными фракциями донных отложений. В целом для всех проб характерно некоторое повышение содержания металлов начиная с верхнего бьефа Верхнеуральского водохранилища, т.е. с места поступления вод р. Урал в зону рудных месторождений и соответствующих промышленных объектов.

Следует отметить, что в зависимости от форм нахождения Cu и Zn в донных осадках при изменении физико-химических условий вод (снижение pH, десорбция и ионный обмен, растворение карбонатов, разложение органических веществ и железомарганцевых оксидов) возможен их перевод из донных осадков в водную среду и, соответственно, их вторичное вовлечение из осадков в гидрохимическую миграцию [11].

Специальные работы по исследованию состава донных осадков на Ириклинском водохранилище не проводились. Интенсивная переработка прибрежных отложений происходит на относительно небольшой части водохранилища. В условиях регулирования стока и колебаний уровня водохранилища осадконакопление носит возвратно-поступательный характер и приводит к формированию террас из преимущественно грубообломочного материала. Устья рек служат временной зоной осадконакопления в межень; при очередном половодье песчано-иловые накопления размываются и перемещаются в водохранилище, о чем свидетельствует отсутствие дельт. На остальной глубоководной (более 5 м) части происходит осаждение взвешенных частиц пелитовой размерности и органических илов, играющих важную роль в связывании загрязняющих веществ.

Из специфических последствий функционирования водохранилищ и расположенных рядом промышленных объектов отметим изменение теплового режима вод р. Урал. Вертикальная стратификация температуры воды отмечается на Ириклинском водохранилище, она обусловлена значительными глубинами водоема (до 10 м – на 45.5% его площади, 10–12 м – 31.5%, более 12 м – 23.0%; площадь мелководья (до 2 м) – 5 км²). Плотина водохранилища обеспечивает максимальную глубину подпора воды – 38 м на приплотинном участке. Это приводит к охлаждению приповерхностного слоя при сильных ветрах и определяет температурный режим реки на этом участке и на расстоянии 100–150 км от шлюзов (рис. 3). В июле 2009 г. температура воды впадающих рек составляла +20.3–20.8°C, на поверхности водохранилища +19.1–20.5°C, на “выходе” из шлюзов +15.3°C. Некоторое тепловое загрязнение дает выпускной канал ГРЭС, вода в котором имела на момент обследования температуру +25.5°C. После впадения притоков Большой Кумак и Орь температура воды довольно резко повышается и в районе г. Орск (105 км от плотины) достигает +20.8°C, а еще ниже – на выходе из Урало-Губерлинского ущелья (220 км, с. Губерля) – +21.1°C.

Об относительном понижении температуры воды на этом отрезке свидетельствует также отсутствие характерного для других участков реки “цветения” воды синезелеными водорослями.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что длительное и постоянное освоение природных ресурсов в Южном Зауралье, сопровождающееся регулированием стока, привело к трансформации и снижению параметров устойчивости речных экосистем. В этих условиях формируется современный гидрологический режим р. Урал, имеющей важное водохозяйственное, социальное и экологическое значение.

ВЫВОДЫ

Освоение минеральных ресурсов Южного Зауралья, начавшееся со второй половины XVIII в., получившее наибольшее развитие с 1930-х гг. и продолжающееся по настоящее время, привело к формированию специфического природно-техногенного комплекса. Важный динамический компонент этого комплекса – речной сток, обеспечивающий хозяйство водными ресурсами, способствует трансформации и частичной нейтрализации загрязняющих веществ, а также вывод их за пределы комплекса. Систематизация и анализ данных по верхнему течению р. Урал позволили выявить об-

щие закономерности формирования и тенденции изменения гидрологической, гидрохимической и экологической ситуации.

Наличие в Южном Зауралье природных геохимических аномалий, связанных с месторождениями рудных полезных ископаемых, их длительным промышленным освоением, обусловило формирование повышенного фонового содержания ионов меди, цинка и других сопутствующих металлов. В этих условиях максимальные концентрации загрязняющих веществ наблюдаются в непосредственной близости от разрабатываемых месторождений и соответствующих перерабатывающих предприятий. Особое внимание необходимо обратить на загрязнение поверхностных и подземных вод кислыми подотвальными сточными водами, которые будут наблюдаться еще длительное время после отработки месторождений.

Данные гидрохимического мониторинга свидетельствуют о том, что длительное освоение месторождений привело к значительному ослаблению параметров устойчивости (буферной емкости) речных систем. Эти параметры обеспечиваются многочисленными внутренними механизмами, которые приводятся в действие сезонными различиями в стоке, активным развитием гидробионтов в летнее время, разнообразием морфологии русла и пр. Таким образом, преобладание процессов аккумуляции либо переноса загрязняющих веществ обусловлено сезонными особенностями функционирования речных экосистем, а сам перенос носит поступательный характер.

Связывание металлов в слабоподвижные соединения и, соответственно, улучшение качества воды происходит на участках реки с замедленным стоком, особенно – на крупных водохранилищах. Таким образом, в верхнем течении р. Урал Ириклинское водохранилище – крупнейший региональный гидрохимический барьер. Одним из основных факторов снижения концентраций загрязняющих веществ является разбавление их большими объемами относительно чистых вод.

Проведенные исследования показали, что хозяйственная деятельность в староосвоенных промышленных районах, сопровождающаяся актив-

ным регулированием речного стока, вызывает комплекс неблагоприятных экологических последствий, которые становятся фоновыми для региона и будут проявляться в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексин О.А.* Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1952. 161 с.
2. *Балабанова З.М.* Ириклинское водохранилище на р. Урал // Вопросы водного хозяйства и гидрологии Урала. Свердловск, 1961. Вып. 1. С. 33–51.
3. Геология СССР. Т. XIII. Ч. 1 / Под ред. Ожиганова Д.Г. М.: Недра, 1964. 655 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. XLIII / Под ред. Токмачева Е.И. М.: Недра, 1972. 272 с.
5. *Кролин А.* Опыт эксплуатации Ириклинского водохранилища за период с 1955 по 1960 годы // Совещание по рациональному водохозяйственному устройству Оренбургской области. Оренбург, 1961. С. 1–10.
6. *Кужина Г.Ш., Янтурин С.И.* Исследование загрязнения тяжелыми металлами донных отложений верхнего течения р. Урал // Вестн. ОГУ. 2009. № 6. С. 582–584.
7. *Кужина Г.Ш., Янтурин С.И.* Исследование содержания тяжелых металлов в верхнем течении реки Урал // Вестн. ОГУ. 2010. № 1(107). С. 106–109.
8. Приказ Федерального агентства по рыболовству № 20 от 18 января 2010 г. “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения” // Рос. газета. 5 марта 2010 г. Вып. № 5125.
9. *Чибилев А.А.* Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.
10. *Чибилев А.А., Павлейчик В.М., Дамрин А.Г.* Ириклинское водохранилище: геоэкология и природно-ресурсный потенциал. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 183 с.
11. *Шафигуллина Г.Т.* Геоэкологические условия процессов техногенеза Учалинской геотехнической системы (Южный Урал) / Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ВИМС, 2008. 23 с.
12. <http://www.bashnedra.ru/about-agency/history/>
13. <http://www.chelpogoda.ru/pages/328.php>