

УДК 55.504:624.131

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АБИОТИЧЕСКИХ СФЕР ЗЕМЛИ В РАЙОНАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В.Т. Трофимов¹, М.А. Харькина¹, Т.А. Барабошкина¹, А.Д. Жигалин^{2,1}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

² Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва

Поступила в редакцию 12.12.16

Создание гидротехнических комплексов приводит к изменению георесурсной, геодинамической, геохимической и геофизической экологических функций абиотических сфер Земли, что отражается в усложнении пространственной картины их проявления и в литосфере, гидросфере, педосфере, атмосфере и, в конечном итоге, может радикально менять экологическую обстановку на региональном уровне. Показаны мозаичность и динамизм усложнения полей распределения экологических функций абиотических сфер Земли. Представлена типизация последствий трансформации всех экологических функций, имеющих как позитивный, так и негативный характер, в местах расположения гидротехнических комплексов и на прилегающих территориях.

Ключевые слова: литосфера, гидросфера, атмосфера, педосфера, водохранилище, биогены, токсиканты, плодородие, качество воды, температурное поле, комфортность проживания.

Trofimov V.T., Kharkina M.A., Baraboshkina T.A., Zhigalin A.D. Peculiarities of changes in ecological functions of Earth abiotic spheres in areas of hydropower facilities. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2017. Volume 92, part 1. P. 57–70.

Creation of hydropower facilities provokes the transformation of georesource, geodynamic, geochemical, geophysical ecological functions of abiotic spheres of the Earth, that is reflected in the complexity of spatial patterns of their occurrence in the lithosphere, hydrosphere, pedosphere, atmosphere and, eventually, can radically change the environmental situation at the regional level. Mosaicity and dynamism of complexity of distribution fields of ecological functions of the Earth's abiotic spheres are shown. The typing of the consequences of transformation of the ecological functions of the Earth's abiotic spheres with both positive and negative character within the territories of hydroengineering complexes and the surrounding areas is represented.

Key words: lithosphere, hydrosphere, atmosphere, pedosphere, reservoir, biogens, toxicants, crop-producing power, water quality, temperature field, comfortable living.

Введение

Продолжая тему трансформации экологических функций при различных видах техногенных воздействий, опубликованных ранее (Барабошкина и др., 2015; Трофимов и др., 2015), в рамках настоящей статьи рассмотрим закономерности их динамики в районах создания и функционирования гидроэнергетических комплексов. Концепция экологических функций литосферы, а позже и остальных абиотических сфер Земли, предполагает выделение георесурсной¹, геодинамической², геохимической³ и геофизической⁴ экологических функций, под которыми понимается все многообразие прояв-

ления указанных функций и их роли в жизнеобеспечении биоты и, в первую очередь, человеческого сообщества (Трофимов, 2005).

Ход эволюции природной среды в геологической истории Земли позволяет выделить три основных временных этапа формирования экологических функций оболочек Земли (Трофимов, 2005).

Первый этап (предгеологический) охватывает период существования Земли с начала ее формирования как планеты, когда экологические функции еще нельзя было назвать вполне экологическими. В это время еще не был определен пространственный ресурс (в последующем — ресурсная экологическая функция), но уже существовали предтечи

¹ Георесурсная экологическая функция абиотических сфер Земли определяет роль органических, минеральных и органоминеральных твердых, жидких и газообразных ресурсов геосферных оболочек земли, а также литосферного, атмосферного и гидросферного пространства для жизни и деятельности биоты в качестве как биоценоза, так и социальной структуры.

² Геодинамическая экологическая функция абиотических сфер Земли отражает способность литосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления.

³ Геохимическая экологическая функция абиотических сфер Земли определяет свойства геохимических полей литосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояние биоты в целом, включая здоровье человека.

⁴ Геофизическая экологическая функция абиотических сфер Земли отражает свойства геофизических полей литосферы, атмосферы и поверхностной гидросферы природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека.

динамической и геохимической экологических функций при созидательной «работе» физических полей, которые в совокупности по прошествии длительного, даже по геологической шкале, времени мы сможем рассматривать как геофизическую экологическую функцию. Такая ситуация, условно говоря, существовала до формирования экологических функций абиотических сфер (в это время уже обозначились абиотические сферы — гидросфера, литосфера, атмосфера), которые способствовали возникновению еще одной сферы, сферы жизни, названной нами вслед за Э. Зюссом и В.И. Вернадским биосферой.

Второй этап охватывает период от возникновения жизни на планете (около 3,5 млрд лет назад). Именно с этого момента можно начинать историю экологических функций сфер планеты Земля. Это был этап, когда единство экологических функций, связанных с абиотическими компонентами, сформировало *среду, благоприятную для существования живого вещества*, и эта «связка» предопределила становление и дальнейшую эволюцию биосферы Земли. Этот этап заканчивается появлением Человека, освоением им природных ресурсов, началом «приспособления» природы сообразно своим интересам. Постепенно человечество, отвоевывая у природы все новые и новые ресурсы, проникая в ее тайны и заставляя ее законы работать на себя, создало так называемую «техносферу» (ноосферу), в которой природе отводилась роль неисчерпаемого источника всех благ.

Третий этап, который назван техногенно-природным, охватывает временной интервал порядка последних 200 лет. Именно на этом этапе наблюдается и с каждым годом все увеличивается опережающее производство энергии, обеспечивающей существование человечества, его технический прогресс и рост благосостояния. Следует отметить, что использование энергии падающей или быстро текущей воды, известное с античных времен, сохраняется и в наши дни. Однако создаваемые сегодня гидротехнические комплексы различного назначения по своим энергетическим возможностям значительно превосходят свои исторические (и доисторические) аналоги. Из этого следует, что в наши дни и воздействие гидротехнических сооружений на природную среду, и трансформация экологических функций вследствие этого воздействия стали заметнее.

Территориальная неравномерность распределения водных ресурсов, а также внутригодовая и многолетняя изменчивость речного стока затрудняют стабильное обеспечение населения водными ресурсами. В России, как и в большинстве регионов мира, эта проблема решается за счет регулирования стока рек системой водохранилищ, например Волжско-Камский и Ангара-Енисейский каскады (Государственный доклад..., 2008).

Гидротехнические комплексы (или отдельные сооружения) предназначены для использования водных ресурсов с целью получения энергии, а также

для борьбы с разрушающим действием водной стихии. Они включают гидротехнические сооружения (плотины и дамбы), водопроводящие и водозаборные устройства, водосбросные тоннели и др. Сюда же следует отнести здания гидроэлектростанций, шлюзы, судоподъемники и др.

На территории России находятся в эксплуатации около 30 тыс. водохранилищ и прудов общим объемом более 800 км³, протяженность береговой линии водохранилищ составляет 75,4 тыс. км. Емкостью порядка 1 млн м³ обладают 2650 водохранилищ. Высокой степенью зарегулированности стока отличаются реки европейской части страны, где суммарный полезный объем зарегулированного стока достигает 161 км³, в том числе на реках северного склона — 35, южного — 126 км³ (сток р. Волги зарегулирован на 40%, Дона — 50%, Урала — 68%). В первую десятку крупнейших по площади водного зеркала рукотворных водоемов в мире входят Куйбышевское (6,5 тыс. км²), Братское (5,5 тыс. км²), Волгоградское (3,1 тыс. км²), Красноярское (2,0 тыс. км²) водохранилища (Государственный доклад..., 2008).

Трансформация экологических функций литосферы и экологические последствия при создании гидроэнергетических комплексов

Трансформация георесурсной экологической функции литосферы. Является весьма существенной и может быть как негативным, так и позитивным фактором по отношению к живым организмам. Создание гидротехнических комплексов существенно изменяет *ресурсы геологического пространства*. Негативным фактором является отчуждение и исключение из хозяйственного оборота огромных земельных площадей с затоплением значительных их частей (табл. 1). Неблагоприятные экологические последствия затопления сводятся к необходимости переноса населенных пунктов со сложившейся системой расселения, социальной и производственной инфраструктурой, к уничтожению экосистем, приущих данной территории. При одинаковых затопленных площадях, утраченные земли сельхозугодий и количество перенесенных строений в европейской части России и на освоенных территориях Сибири в десятки и сотни раз больше, чем на слабоосвоенных пространствах Сибири и Дальнего Востока.

Функционирование водохранилищ, входящих в состав гидротехнических комплексов, неминуемо приводит к накоплению донных осадков и илов. В период эксплуатации гидроузла, когда они полностью покрыты водой, трансформация *ресурсов биогенных элементов* незначительна. По окончании эксплуатации гидроузла (в случае спуска или полного заиливания водохранилища) именно состав и состояние этих отложений будут в значительной степени определять ресурсную ценность «вышедшей на поверхность» территории. Как известно, существенную роль в осадконакоплении в водохранилище играет органическое вещество. Соот-

Таблица 1

**Площади затопления и количество перенесенных строений для отдельных крупных водохранилищ бывшего СССР
(по книге «Гидроэлектростанции СССР», 1978)**

Название гидроузла	Общая площадь водохранилища, км ²	Площадь затопленных сельскохозяйственных земель, тыс. га	Количество перенесенных строений
Ондский (р. Онда)	2070	1,19	286
Камский (р. Кама)	1915	68,1	9600
Воткинский (р. Кама)	1120	73,3	6641
Нижекамский (р. Кама)	2704	118,22	13200
Куйбышевский (р. Волга)	6150	277,8	51195
Саратовский (р. Волга)	1831	116	8176
Волгоградский (р. Волга)	3117	136,4	18496
Рыбинский (р. Волга)	4550	256	26754
Цимлянский (р. Дон)	2700	195,3	15360
Кременчугский (р. Днепр)	2252	90,5	39900
Новосибирский (р. Обь)	1070	28,1	8225
Бахтарминский (р. Иртыш)	5490	209,8	5500
Красноярский (р. Енисей)	2000	120	13750
Братский (р. Ангара)	5470	166,3	15571
Вилуйский (р. Вилуй)	2170	0,23	50
Зейский (р. Зея)	2419	3,9	—

ветственно, при отсутствии или слабом загрязнении токсикантами территории, покрытые такими осадками, при выходе на поверхность будут обладать очень высоким качеством ресурса под любое сельскохозяйственное освоение, а также под добычу органических удобрений. Напротив, в случае масштабного техногенного загрязнения донные осадки водохранилищ не только сами будут обладать крайне низким ресурсным потенциалом под все виды освоения, но и могут стать причиной ухудшения ресурсного потенциала прилегающих территорий. Например, в связи с образованием провала (27.07.2007) и затоплением одного из рудников на Верхнекамском месторождении калийно-магневых солей во избежание катастрофических процессов было начато снижение уровня Нижнезырянского водохранилища, расположенного в границах месторождения и в непосредственной близости от г. Березники. За полувековой период существования этот искусственный водоем стал одним из основных мест отдыха городского населения. Обсуждался вопрос о полном его спуске. Первоначально уровень воды в водохранилище был понижен на 2 м. Частичное обнажение дна в летний теплый период привело к распространению гнилостного запаха, появлению большого количества насекомых-разносчиков инфекций. Подсыхая, донные отложения стали источником пыли, загрязняющей санитарно-защитную зону водохранилища и при-

легающую урбанизированную территорию. Санитарно-гигиеническая ситуация усугубилась тем, что пылевому разному подвергались отложения, содержащие тяжелые металлы (свинец в концентрациях, до 7 раз превышающих ПДК, цинк — до 10 ПДК) и имеющие бактериологическое загрязнение кишечной палочкой, широким лентцом и гельминтами на уровне умеренно опасного и опасного (Сан-Пин 2.1.7.1287-03). Спуск Нижнезырянского водохранилища был прекращен, так как нормативно предусмотренные мероприятия требовали дезинфекцию с последующим вывозом и захоронением загрязненных грунтов на специальных полигонах (Максимович и др., 2011).

Трансформация геодинамической экологической функции литосферы. При создании гидротехнических комплексов трансформация связана с изменением экстенсивности и интенсивности природных геологических процессов. Последствия этих процессов носят также двоякий характер, как позитивный, так и негативный, и связаны, в первую очередь, с подъемом уровня грунтовых вод (УГВ) на прилегающих к водохранилищу территориях.

Позитивные экологические последствия подъема УГВ (*подтопления*) сводятся к повышению урожайности сельскохозяйственных культур в засушливых районах. Так, создание каскада Волжских ГЭС привело к сокращению территорий с неустойчивым ведением земледелия (Дебольский, 2000).

Сильное подтопление вызывает массовую деградацию существующих биогеоценозов и замещение их болотными и водными. Наблюдается уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур. Согласно Т.П. Федосеевой (1977), на каждую тысячу гектаров земель, занятых под водохранилища, в России приходится 100–270 га подтопленных угодий, в том числе 70–150 га используемых для сельского хозяйства.

Активная *переработка берегов* водохранилищ приводит к разрушениям жилых домов и других построек на берегах. По данным А.Л. Рогозина и В.Н. Буровой (2001), процессы переработки берегов отмечаются на более 40% береговой линии Горьковского, Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского, Камского, Новосибирского и Красноярского водохранилищ. При разном типе переработки берегов скорость отступления составляет 2–100 м в год и постепенно затухает во времени. Так, на Цимлянском водохранилище за 25 лет она составила в среднем 40–60 м при максимальной величине 200 м, на Барском водохранилище у пос. Артумей всего за пять лет берег отступил на 759 м. На Красноярском водохранилище у пос. Куртак береговая зона, сложенная лессовыми породами, отступила на 400 м (Трофимов и др., 2014). На Волгоградском водохранилище даже по прошествии 55 лет после его создания нет оснований говорить о стабилизации процессов переработки берегов или перехода их в нейтральную стадию (Филиппова, 2013).

Основные неблагоприятные экологические последствия *переработки берегов* водохранилищ связаны с потерей земельных ресурсов и неизбежностью переноса населенных пунктов и инженерных коммуникаций. Так, процесс переноса населенных пунктов достиг небывалых масштабов при создании Горьковского водохранилища. В проекте предполагалось, что в зону переработки берегов попадут 14 населенных пунктов; фактически же эта зона распространилась на 65 поселений (Курбатова и др., 1997).

Абразия берегов водохранилищ сказывается и на гидробионтах. Нарастание мутности воды при разрушении берегов препятствует миграции гидробионтов в системах «водохранилище — устье притока», «залив — водохранилище», в результате чего падает их численность.

С созданием водохранилищ связана и масштабная активизация *оползней*, существенно нарушающая комфортность проживания человека, а также ухудшающая условия его хозяйственной деятельности. В ряде случаев активизация оползней за счет образования водохранилищ может приводить к катастрофическим последствиям. Примером может служить спровоцированный грандиозным оползнем перелив воды через плотину Вайонт (Италия), который разрушил город Лонжерон и погубил более 2000 человек.

Строительство гидротехнических комплексов в сейсмически активных районах приводит к по-

явлению наведенных землетрясений. За историю гидротехнического строительства есть несколько примеров, когда такие землетрясения имели значительные экологические последствия. Так, например, возбужденное землетрясение, связанное с наполнением водохранилища Койнангар в Индии и произошедшее 10 декабря 1967 г. в ранее считавшемся асейсмичном районе, разрушило плотину и ГЭС на р. Койна, унесло 200 человеческих жизней, ранило более 1500 человек, а несколько тысяч осталось без крова.

При создании гидротехнических комплексов в зоне многолетнемерзлых пород происходит активизация практически всего спектра мерзлотных процессов, влияющих не только на устойчивость сооружений, но и на состояние окружающей среды. В качестве примера приведем мощную *наледь* объемом более 0,2 млн м³, образующуюся каждую зиму в нижнем бьефе в 0,5 км от плотины Билибинской АЭС за счет утечек из водохранилища. Оттаивание под плотинной русловой талики на глубину до 100 м вызвало не только увеличение с каждым годом утечек из водохранилища и рост наледи, но привело к тому, что за счет фильтрации через глубокие горизонты триасовых пород воды насыщаются окислами железа и сероводородом, минерализация их увеличилась с 0,06 до 0,23 г/л на выходе, где они образуют «Красный ручей», ставший источником загрязнения вод руч. Большой Поннеурген, протекающего в зоне пос. Билибино (Гарагуля, Ершов, 2000).

Отметим опасности *гидролакколитов*, образующихся чаще всего при намыве земляных плотин в криолитозоне. Мощные взрывы больших гидролакколитов (высотой до 5–7 м), при которых отдельные глыбы льда размерами 1–2 м разлетаются на расстояние до 100 м, угрожают жизни людей и животных.

Трансформация геохимической экологической функции литосферы. Процесс трансформации эколого-геохимических условий под воздействием гидроэнергетических предприятий протекает в несколько стадий и начинается практически с момента строительства плотины и заполнения водохранилища. Возведение плотины, как правило, приводит к механической миграции вещества и фактически имеет место изменение структуры природных полей. На этапе заполнения водохранилища и формирования его берегов имеет место преимущественное загрязнение водохранилища быстрорастворимыми или взмучиваемыми веществами.

На втором этапе, вследствие смены проточного режима вод на застойный в верхнем бьефе, поступления естественных стоков с водосборов, разложения больших масс органического вещества почв, растительных остатков, древесины и т.п. идет образование фенолов, накопление биогенов и других веществ (Семин, 2001).

В откладывающихся на дне водохранилищ илах осуществляется нарастающее с течением времени депонирование тяжелых металлов и металлоорга-

нических соединений, формируются техногенные геохимические барьеры.

Детальный анализ экологических последствий эксплуатации, например Новосибирского водохранилища, широко освещен в работах сотрудников Сибирского отделения РАН В.М. Савкина (2000), С.Я. Двуреченской и др. (2001), А.А. Федотовой и др. (2003) и др.

Ретроспективный и современный анализ донных осадков и гидрохимического состояния вод Новосибирского водохранилища позволяет сделать вывод о стабильном присутствии в его водах ряда приоритетных *токсикантов*: фенолов, нефтепродуктов, соединений, содержащих ионы аммония; реже — нитриты, соединения тяжелых металлов. Как следствие этого происходит смена доминирующих форм фито- и зоопланктона, фито- и зообентоса, рыб.

П.А. Попов (2001), изучавший содержание 10 металлов в мышечной ткани и органах неполовозрелого судака из Новосибирского водохранилища, установил в свежих рыбопродуктах превышение в мышечной ткани допустимо-остаточных концентраций (ДОК) ряда элементов. Отмечено превышение по Fe (в 3 раза), Ni (в 6 раз), Zn (в 2,5 раза) у особей размером 7–10 см, что, вероятно, связано с повышенной активностью метаболических процессов у наиболее молодых особей этого вида рыб. Концентрация Сг во всех пробах низка, ниже предела обнаружения. Характер распределения металлов по органам и мышечной ткани в размерно-возрастных группах существенно различается (Попов, 2001).

При функционировании гидротехнических станций основное влияние на подземные воды оказывают процессы, связанные с подъемом или понижением уровня, т.е. преимущественно идет гидродинамическое воздействие. При значительных повышении уровня поверхностные воды начинают питать гидравлически связанные с ними подземные водоносные горизонты. Это часто приводит к химическому и бактериальному загрязнению последних и, как следствие, к необходимости строительства дополнительных очистных сооружений на водозаборных скважинах (Шварц, 1996).

Водохранилищем перехватывается значительная часть токсикантов из городских, промышленных и сельскохозяйственных стоков, поэтому загрязнение донных илов и донных отложений может быть, как уже отмечалось выше при рассмотрении трансформации георесурсной функции на примере Нижне-Зырянского водохранилища, очень велико, а даже и катастрофично. В основном влияние загрязнения донных осадков на эколого-геохимические показатели территории может сказаться уже после окончания эксплуатации гидроузла и спуска водохранилища, когда загрязненные осадки выйдут на поверхность.

Трансформация геофизической экологической функции литосферы. При создании гидротехнических сооружений наибольшему изменению (трансформации) подвержены температурное, гравитационное и сейсмоакустическое поля. Трансформация тем-

пературного поля с формированием *температурных аномалий* свыше 5–10°C обусловлена созданием обширных водохранилищ (особенно в равнинных местностях), приводящих к погодным изменениям на региональном уровне. Это объясняется высокой теплоемкостью воды, вследствие чего в окрестностях водохранилища смещается во времени как суточный, так и сезонный ход температуры. Появлению тепловых аномалий в значительной мере способствует изменение уровня грунтовых вод, создание искусственного подпора воды, возникновение утечек и фильтрация. Наиболее существенными оказываются последствия трансформации тепловых полей в районах распространения многолетне-мерзлых пород, где температурные аномалии в зависимости от сезонных условий могут достигать 10–20°C. При средней температуре многолетне-мерзлых пород в местах их преимущественного распространения –2 – –5°C прогрев грунтовой толщи в местах нахождения аномалий теплового поля приводит к деградации многолетней мерзлоты, замене сплошной мерзлоты на островную. Это неизбежно влечет за собой изменение экологической обстановки, вынужденную сукцессию эндемических экосистем.

Изменения *гравитационного поля* происходят вследствие перенесения значительных объемов грунтовой массы, что связано со строительством гидротехнических сооружений. Региональные аномалии, обусловленные гравитирующим эффектом от накапливаемой в водохранилище воды, могут достигать 25 мГл. Локальные аномалии, возникающие вследствие процессов разуплотнения грунтов, суффозии, колебания уровня грунтовых вод вблизи водохранилища, достигают 5–10 мГл. Трансформация гравитационного поля слабо влияет на общую экологическую обстановку и наносит незначительный экологический ущерб, хотя сукцессионные процессы могут иметь место и в этом случае.

Существенные изменения геофизической экологической функции прослеживаются в *сейсмоакустическом поле*. Сейсмоакустическое поле (поле природных микросейсм, техногенное акустическое и вибрационное поля) заметно изменяет геофизические условия в окрестностях гидротехнического сооружения. Природные микросейсмические колебания (микросейсм), характеризующиеся частотой 2–4 Гц, при создании водохранилищ приобретают устойчивую частоту, определяемую параметрами водохранилища, его площадью, глубиной, характером береговой линии. Вместе со строительством гидротехнических сооружений и последующей их эксплуатацией появляются техногенные акустическое и вибрационное поля. Аномалии акустического (шумового) и вибрационного полей связаны с работой турбин, движением воды по деривационным тоннелям и водосбросам, машин и механизмов, относящихся к гидросооружению. Шумовые аномалии достигают 10–50 дБ(А), вибрационные — 20–60 дБ. Особо следует остановиться на так называемых индуцированных землетрясениях (наведенная

сейсмичность), вызванных заполнением водохранилищ верхнего бьефа и периодическими изменениями уровня воды в водохранилище. Особые осложнения при этом возникают из-за необычных параметров этих землетрясений, так как частота повторения и интенсивность наведенных землетрясений часто оказываются выше нормальных значений для данного региона, а очаги землетрясений располагаются в непосредственной близости от водохранилищ. При этом в мировой практике известно несколько случаев, когда землетрясения, вызванные заполнением водохранилищ, приводили к разрушению строительных объектов, плотин, вызывали человеческие жертвы (<http://refac.ru/navedennaya-sejsmichnost/>).

Последствия трансформации экологических функций литосферы при создании гидротехнических комплексов представлены в табл. 2.

Трансформация почвенного плодородия как интегральной экологической функции почв и ее экологические последствия при создании гидроэнергетических комплексов

Интегральная экологическая функция почв, обеспечивающая почвенное плодородие, была выделена Г.В. Добровольским с соавторами (2010). Она обеспечивает формирование биомассы растений, характеризуется относительностью во времени и сильной пространственной изменчивостью. Почвенное плодородие тесно связано с содержанием гумуса и биогенных элементов, на 90% определяющих урожайность культур.

Существенная трансформация плодородия почв отмечается ниже плотины, что связано со снижением потока биогенов, перехватываемых чашей водохранилища, и с прекращением или снижением весенних паводков. Так, до строительства Нурекской ГЭС на участке от выхода Амударьи на равнину (пос. Керки) до вершины дельты (г. Нукус) за год в среднем оседало (млн т) гумуса — 1,3, $N_{\text{орг}}$ — 0,12, P_2O_5 — 0,16 и K_2O — 2,4. Сейчас почти все это остается в донных илах Нурекского водохранилища (Трофимов и др., 2014).

Трансформация экологических функций наземной гидросферы⁵ и их экологические последствия при создании гидроэнергетических комплексов

Трансформация георесурсной экологической функции наземной гидросферы. Вопрос о положительном или отрицательном влиянии водохранилищ на качество воды до сих пор остается спорным. С одной стороны, создание крупных водохранилищ положительно сказывается на *качестве воды и водообеспечении* населения. Так, потребность Москвы в воде на 60% удовлетворяется за счет Иваньковского водохранилища. Опыт эксплуатации крупных водохранилищ показал, что вследствие увеличения вре-

мени пребывания воды в водоеме общий эффект самоочищения в них в большинстве случаев выше, чем в реках. Водохранилища существенно сглаживают амплитуду колебания показателей качества воды. Резко снижают их пиковые значения.

Вместе с тем существуют примеры значительного и крайне негативного влияния создания водохранилищ на состав воды в других водоемах. Так, при создании Капчагайского водохранилища перехват вод р. Или вызвал существенное увеличение минерализации в озере Балхаш — конечном водоеме стока, что отрицательно сказалось на водоснабжении Прибалхашья. В результате заполнение Капчагайского водохранилища было приостановлено, оно так и не набрало запланированного объема воды (Горшков, 1998).

Другой важной эколого-ресурсной проблемой функционирования гидроузлов является уже упоминавшееся уменьшение потока биогенов ниже плотины. Здесь важно отметить, что это может сказаться не только на плодородии почв заливных и орошаемых земель, но и на ресурсе морских экосистем в районе впадения обедненной биогенами реки в море. Так, после сооружения Асуанской плотины на р. Нил биогенных веществ лишились не только поливные земли в нижнем бьефе, но и экосистемы восточного сектора Средиземного моря, где уловы сардин упали со 150 тыс. т в 1964 г. до 554 т в 1966 г. (Горшков, 1998).

В процессе функционирования гидроузлов проявляются и другие проблемы. За последние 20 лет уловы осетровых в бассейне Каспийского моря упали в 60 раз. Это связано с зарегулированием рек Каспийского бассейна. Плотины ГЭС — одна из основных преград на пути осетровых к нерестилищам. Да и подъем уровней рек в связи с созданием водохранилищ привел к уменьшению площадей естественных нерестилищ, плохому выживанию икры и мальков. Только на Волге площадь основных нерестилищ осетровых сократилась с 4000 до 400 га, естественные нерестилища белуги, белорыбицы и сельди уничтожены полностью, русского осетра на 80%, севрюги на 60% (Асарин, 2000).

С другой стороны, имеются и иные данные по влиянию водохранилищ на рыбные ресурсы рек. Так, по оценке А.Г. Поддубного (1988), благодаря водохранилищам в России рыбохозяйственный фонд внутренних водоемов вырос на 30%. Уловы рыбы в водохранилищах существенно превышают ее вылов из участков рек, подвергнувшихся гидротехническому преобразованию. На акватории Куйбышевского водохранилища они стали больше в 2,5–3 раза, Рыбинского — в 5–6 раз (Кудерский, 1989). Причина роста рыбопродуктивности кроется не только в увеличении объемов водных ресурсов (площади для расселения), но и в изменении характера водообмена, повлекшего не только смену транзитного стока веществ и энергии на транзитно-аккумулятивный, но и накопление в водных массах и дон-

⁵ В разделе рассматриваются воды наземных водоемов, подземные воды не характеризуются.

Таблица 2

Последствия изменения экологических функций литосферы (ЭФЛ) при создании гидротехнических комплексов

ЭФЛ	Виды воздействий	Объект исследований			Экологические последствия	
					позитивные	негативные
Георесурсная	Затопление земель водохранилищами	Ресурс геологического пространства	территории	для расселения	Нет	Сокращение численности многих наземных животных, сокращение площади лесных массивов. Отчуждение площади и переселение жителей
				для размещения зон отдыха на берегах водохранилищ	Возможность водного отдыха населения	Нет
		Ресурсы биогенных элементов и соединений	Илы, донные отложения		Возможность использования илов в качестве удобрений при отсутствии загрязнения	Запрет хозяйственного использования донных отложений, дезинфекция, захоронение грунтов на специальных полигонах при бактериологическом загрязнении
Геодинамическая	Создание водохранилищ	Геологические процессы	природные	Переработка берегов	Нет	Перенос отдельных жилых домов, падение численности гидробионтов в связи с увеличением мутности воды
				Карстующиеся массивы горных пород	Нет	Потеря рабочих мест в связи с невозможностью наполнить водохранилище и прекращением деятельности ГЭС
				Подтопление	Повышение урожайности в засушливых районах	Деградация существующих гидробионтов, замещение их болотными и водными
				Оползневые берега	Нет	Нарушение комфортности проживания человека, ухудшение условий его хозяйственной деятельности, гибель людей
			Техноприродные	Наведенные землетрясения	Нет	Угроза жизни
				Наледи	Нет	Утечки из водохранилища вызывают оттаивание руслового талика и фильтрацию глубоких горизонтов с высокой минерализацией, как следствие, загрязнение поверхностных вод селитебных территорий
				Взрывы гидролакколитов	Нет	Угроза жизни
Геохимическая	Создание водохранилищ	Геохимические поля	природные и техногенные	Донные отложения	Нет	Ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки при спуске воды из водохранилища
				Подземные вод	Нет	Угроза заболеваемости в связи с ухудшением качества питьевой воды
Геофизическая	Создание водохранилищ, работа турбин, движение воды по деривационным тоннелям и водосбросам, утечками из силовых сетей и электроагрегатов	Геофизические поля	природные и техногенные	Температурное	Увеличение сроков вегетации	Нарушение естественного равновесия экосистем за счет повышения температуры подземных вод
				Сейсмоакустическое	Нет	Угроза проявления индуцированной сейсмичности

ных отложениях водохранилищ органического вещества и солнечной энергии (Эдельштейн, 1998).

Трансформация геодинамической экологической функции наземной гидросферы. При создании гидроузлов речные стоки регулируются, паводковые воды накапливаются в водохранилище и наводнения как катастрофический процесс снижают свою интенсивность. До создания системы регуляции стока наводнения фиксировались и в Москве. Последнее наводнение зафиксировано 25 апреля 1908 г., когда уровень воды поднялся на 9 м по сравнению с летним. В единое русло шириной 1,5 км слились Москва-река, обводной канал и Яуза. Улицы города на площади 16 км² были залиты водой и непроходимы.

С другой стороны, зарегулированность стока приводит к сокращению сроков половодий и площади ежегодного затопления поймы ниже гидроузлов, что негативно отражается на состоянии луговой растительности в условиях засушливого климата. Так, создание Куйбышевского и Волгоградского водохранилищ на Волге отразилось на состоянии Волго-Ахтубинской поймы (Мусаелян, 2008). Длительность затопления лугов среднего уровня в годы без специальных весенних пусков была в среднем в 2 раза меньше, чем в естественных условиях, а урожайность лугов снизилась в среднем с 12,6 до 7,8 ц/га.

Создание крупных водохранилищ влияет на водный баланс и изменение уровней прилегающих водоемов. При заполнении резервуаров водохранилищ изменяется режим питания ближайших озер. Так, при заполнении Капчагайского водохранилища общей емкостью 28,14 млрд м³, созданного на р. Или (Казахстан), уменьшился сток воды в озеро Балхаш. Сокращение стока р. Или произошло на 2/3 от первоначального нетрансформированного. С 1970 по 1987 г. уровень воды в Балхаше снизился на 2,2 м. Скорость снижения уровня составляет больше 15 см/год (Капчагайское водохранилище // URL: <http://ru.wikipedia.org> (30.09. 2013)).

Перехват стока рек в районе Капчагайского водохранилища привел к уменьшению уровня и даже к исчезновению мелких озер. Из 16 озерных систем вокруг Балхаша осталось только пять. Развивается процесс опустынивания. Соляная пыль дна пересохших водоемов способствует формированию пыльных бурь и засолению плодородных пойменных почв.

Сработка уровня воды в водохранилищах, обусловленная регламентом работы ГЭС, оказывает существенное влияние на динамику популяций рыб. Установлено, что первая депрессия рыб в камских водохранилищах на рубеже 70–80-х гг. прошлого века совпала с наиболее глубокой зимней сработкой водных масс, когда отметки уровня в отдельные годы снижались на 6–7 м в Камском (существующем с 1956 г.) и Воткинском (с 1964 г.) водохранилищах. Это объясняется малой эффективностью нереста рыб в условиях глубокой зимней сработки водохранилища и подсыханием икры. Максимальная эффективность икрометания отмечается при достаточно высоких отметках уровня и последую-

щем его поддержании на данных отметках в течение одного—полутора месяцев (Костицын, 2011).

Падение уровней воды в водохранилище негативно сказывается на развитии высшей погруженной водной растительности (клубнекамыш, камыш, тростник, рогоз) и ассоциированных с ней беспозвоночных гидробионтов, как это отмечено на Красноярской пойме Волгоградского водохранилища в период продолжительного спада воды в 2009–2010 гг. (Сониная, 2011).

С образованием водохранилищ коренным образом меняется волновой режим. Обычно на реках высота волн редко превышает 0,5–0,75 м, а на водохранилищах она может достигнуть 3 м и более. Их размер зависит от скорости и продолжительности действия ветра, длины разгона (пути, на протяжении которого действует ветер на водную поверхность) и глубины водоема. Отмечено, что волны высотой 310 см наблюдаются в расширенной средней части Волгоградского водохранилища при ветре северо-западного направления, скорость которого достигает 24 м/сек (Мусаелян, 2008). Безусловно, большие волны затрудняют судоходство на водохранилищах. Так, волны высотой 1,5 м, препятствующие хождению небольших судов, вынудили соорудить искусственные волноломы в акватории ряда волжских портов, например, Казанского на Куйбышевском водохранилище (Судоходство..., 2016).

Трансформация геохимической экологической функции наземной гидросферы. Одним из самых острых вопросов при эколого-геохимической оценке района размещения гидроузла является качество воды в самом водохранилище и сопоставление его с составом воды в реке до ее зарегулирования. В первые годы после заполнения водохранилища в нем появляется много разложившейся растительности, как правило, резко снижающей уровень кислорода в воде. Гниение органических веществ иногда приводит даже к выделению огромного количества парниковых газов — метана и двуокиси углерода. Причем этот процесс продолжается вплоть до «созревания» водохранилища. А искусственные водоемы часто «созревают» десятилетиями или дольше, в тропиках этот процесс вообще длится столетиями — пока разложится большая часть всей органики. Так, при сооружении Ангарского каскада при подготовке ложа водохранилищ производилась рубка и выжигание леса, часть срубленной древесины и леса в прижизненном состоянии (35 млн м³) были затоплены, из-за чего воды Братского и Усть-Илимского водохранилищ были засорены плавником, а придонные части акваторий из-за гниения биомассы заражены сероводородом. Произошла эвтрофикация водоемов, в них исчезли ценные виды рыб — стерлядь, осетр, хариус и т.д.

Абразия повышает риск эвтрофикации водоемов. Почвенные горизонты прибрежной зоны насыщены растворимыми минеральными, органическими и биогенными веществами, которые, попадая в водоем, могут стать угрозой его перенасыщения, изменения качественных показателей воды. Обога-

щение водоема этими веществами способствует повышению продуктивности высшей водной растительности, которая в свою очередь замедляет скорость течений и интенсивность водообмена. Увеличение площади распространения растительности приводит к дефициту кислорода и, как следствие, к гибели рыб и животных (Филиппова, 2013). Благодаря эвтрофикации вода многих мелководных водохранилищ непригодна ни для питьевого водоснабжения, ни даже для промышленного использования.

Серьезное негативное влияние на воды водохранилищ оказывают предприятия прибрежной зоны. Например, в районе г. Череповца основными источниками загрязнения Рыбинского водохранилища являются ОАО «Северсталь», предприятия по производству минеральных удобрений — ОАО «Череповецкий «Азот»» и ОАО «Аммофос», а также МУП «Водоканал». К характерным загрязняющим веществам относились соединения меди и трудноокисляемые органические вещества. Из-за значительной заболоченности водосборного бассейна для воды Ивановского водохранилища характерны высокие концентрации железа общего, марганца и иона аммония. В 2007 г. превышение ПДК было зафиксировано для трех показателей: нефтепродуктов (2,6 ПДК), железа общего (8,7 ПДК), марганца (21 ПДК). Среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ по каскаду водохранилищ р. Волги превышают требования нормативов (ПДК) по нефтепродуктам, железу, марганцу, фенолам, цинку, БПК₅, азоту аммонийных солей.

Анализ качества воды водохранилищ позволяет сделать выводы, что воды Угличского и Рыбинского водохранилища характеризуются четвертым классом качества — «загрязненная»; в целом качество воды Горьковского водохранилища соответствует четвертому–пятому классу — от «загрязненной» до «грязной»; качество воды Чебоксарского и Куйбышевского водохранилищ соответствует третьему классу — «умеренно-загрязненная» (Государственный доклад..., 2008).

В качестве примера можно также рассмотреть водохранилища Ангарского каскада ГЭС. Качество воды Иркутского водохранилища определяется химическим составом байкальских вод, являющихся основным источником формирования водной массы, а также влиянием судоходства и сточных вод очистных сооружений пос. Листвянка, а также рекреационной деятельности в районе Иркутского водохранилища. Однако по комплексу показателей вода водохранилища в створах наблюдения в 2007 г. характеризовалась первым классом и оценивалась как «условно чистая». Вода Братского водохранилища в среднем характеризуется в диапазоне «условно чистая» — «слабо загрязненная». Река Ангара до Братского водохранилища испытывает влияние сбросов сточных вод предприятий городов Иркутск и Ангарск. На входном створе Братского водохранилища (г. Усолье-Сибирское) основные источники загрязнения — ОАО «Усольехимпром»,

свинокомплекс. Эпизодически отмечается превышение концентрации меди до 3,5 ПДК, фенолов и ртути до 2 ПДК. В целом по водохранилищу отмечено снижение загрязнения воды по веществам азотной группы в 2007 г. в 3,2–13,3 раза по сравнению с 2006 г. В районе пос. Балаганск вода характеризовалась как «загрязненная», отмечено превышение норм по меди в 2,6 раза, марганца — в 2,4 раза, фенолов, ртути — в 2 раза, БПК в максимальных концентрациях — в 2,2 раза. В приплотинной части водохранилища в районе г. Братска вода характеризовалась как «условно чистая». На отдельных участках водохранилища (зал. Сухой Лог, зал. Дондир) зафиксированы повышенные концентрации лигнина — до 1,4 ПДК и снижение содержания нефтепродуктов в 3,5 раза (Государственный доклад..., 2008).

Как правило, помимо антропогенных факторов на состав вод в водохранилищах влияют так же и климатические и сезонные вариации, находящиеся в тесной связи с интенсивностью эрозионных процессов, которые были описаны в предыдущем разделе.

Трансформация геофизической экологической функции наземной гидросферы. Падающая после плотины вода (управляемый сброс), превращая потенциальную энергию воды в водохранилище в кинетическую энергию падения большой массы воды, несет в себе своего рода разрушительный заряд большой мощности. Так, потенциальная энергия крупных гидротехнических электроэнергетических сооружений составляет 10^{15} Дж (джоулей). Для сравнения, энергия, высвобождаемая при землетрясениях, составляет 10^{10} – 10^{18} Дж, а энергия ядерного взрыва — 10^{14} – 10^{18} Дж. Случаи прорыва воды и разрушения плотин на водохранилищах (неуправляемый катастрофический сброс) наглядно демонстрируют разрушительный потенциал воды, направляемой искусственно созданным гравитационным полем. Такое техногенно «управляемое» гравитационное поле способно при экстраординарных обстоятельствах привести к серьезным, в том числе и экологическим последствиям с существенными нарушениями экологического равновесия в экосистемах-эндемиках или полным их уничтожением.

Региональные тепловые аномалии могут возникать вследствие трансформации *теплового поля* при создании водохранилищ. Это происходит из-за изменения уровня грунтовых вод, возникновения подпора, появления утечек воды. Как результат, могут формироваться устойчивые температурные аномалии, превышающие 5–10 градусов. Наиболее существенное изменение температуры воды имеет место в так называемых прудах-охладителях, сооружаемых при атомных и тепловых электростанциях. Горячие воды, поступая в пруды-охладители, в качестве которых могут использоваться и естественные поверхностные водоемы, существенно изменяют в них экологическую обстановку, часто с негативными последствиями для ихтиофауны и других гидробионтов. В районах распространения многолетнемерзлых пород подобного рода аномалии могут до-

стигать в зависимости от сезонных условий 10–20° (Трофимов и др., 2006).

Тепловое загрязнение вызывает интенсификацию процессов жизнедеятельности и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов, изменение скорости химических и биохимических реакций, протекающих в водоеме. В результате этого может нарушаться природный баланс водоема, складываются особые экологические условия. Так, установлено, что подогретая вода дезориентирует водные организмы, создавая условия для истощения пищевых ресурсов; при повышенной температуре многие водные организмы и, в частности, рыбы находятся в состоянии стресса, что снижает их естественный иммунитет; происходит массовое размножение сине-зеленых бактерий; уменьшается видовое разнообразие растительного и животного «населения» водоемов. В то же время имеются и некоторые положительные примеры последствия теплового воздействия. Так, известны случаи разведения товарной рыбы в прудах-охладителях. Но такого рода эксперименты не всегда заканчивались благополучно. В качестве примера благоприятных, а затем и негативных последствий теплового воздействия может служить водоем-охладитель Харанорской ГРЭС (Забайкалье), существующий с 1994 г. За счет сброса теплых вод в водохранилище произошло увеличение темпов роста товарной рыбы — чебака и сазана — в 1,5–2 раза по сравнению с первоначальным этапом. Это было связано с увеличением вегетационного периода, улучшением кормовой базы в результате поступления дополнительного тепла. Однако после ввода в эксплуатацию второго энергоблока в 2001 г. и поступления уже избыточного тепла в водоем попала рыба трегубка. Она нашла благоприятные для своего существования условия: отсутствие конкурентов в питании и хищников. Численность трегубки со временем резко увеличилась. Она начала поедать не только мелкие виды рыб, но и молодь промысловых рыб. В настоящее время в ее питании присутствует и собственная молодь. Это повлияло на снижение численности коня-губаря, амурского плоскоголового жереха, сазана, до минимума упала численность налима, что лишний раз подтвердило справедливость первого экологического закона Коммонера — «все связано со всем» (Афонин, Горлачева, 2011).

Последствия трансформации экологических функций гидросферы при создании гидротехнических комплексов представлены в табл. 3.

Трансформация экологических функций атмосферы и их экологические последствия при создании гидроэнергетических комплексов

Образование водохранилищ изменяет состояние приземных слоев атмосферы и климата: ослабевает континентальность климата, увеличивается влаж-

ность за счет испарений с поверхности водохранилища, усиливается ветер. Степень изменений зависит от площади водного зеркала и объема водохранилища.

Трансформация георесурсной экологической функции атмосферы. С созданием водохранилищ изменяется состояние атмосферы и создается микроклимат в прилегающих прибрежных районах. Так, развивается местная *бризовая*⁶ циркуляция в атмосфере. Бризовая циркуляция на берегах водохранилищ изменяет температурный фон. В условиях континентального климата зоны расположения Волгоградского водохранилища бризы считаются благоприятным фактором для здоровья людей и отдыха, так как в летние жаркие дни бризовые потоки выносят с Волги прохладный и влажный воздух. Глубина проникновения бризов вглубь суши на левом низменном берегу составляет 2–3 км, а на правом возвышенном — несколько меньше (Волкова и др., 2008).

Акватория водохранилища влияет на *влажность воздуха* прибрежных зон. Степень этого влияния зависит от площади акватории, рельефа прибрежных зон и др. Чем ниже высотные отметки прибрежных территорий, тем больше влияние водохранилища на местный климат. По данным Э.Ф. Скоробогатовой (1969), зона влияния метеорологических условий Волгоградского водохранилища днем прослеживается на расстоянии 5,5 км от берега, а до 7 км наблюдается эпизодическое влияние.

Трансформация геодинамической экологической функции атмосферы. Создание гидротехнических комплексов изменяет микроклимат в районе гидротехнических сооружений, в том числе за счет трансформации ледово-термического режима рек и образования *морозных туманов*. В России в наибольшей степени трансформации происходят зимой. В период ледостава сброс воды из водохранилища в нижний бьеф производится через глубинные водоводы, вследствие чего температура воды ниже плотины в условиях континентального климата составляет 2–4°С и для ее замерзания необходимо некоторое время. В нижнем бьефе плотин образуются полыньи. Так, ниже Саяно-Шушенского гидроузла длина полыньи достигает 140 км, ниже Красноярского она варьирует от 40–70 до 130–220 км и более (Эдельштейн, 1998). Над полыньей вследствие испарения и малой упругости насыщенного водяного пара при низкой температуре воздуха образуется плотный морозный туман.

Создание водохранилищ с большой площадью открытых поверхностей приводит к усилению скорости и повторяемости *ветра*. Так, скорость ветра над Волгоградским водохранилищем по сравнению со скоростью над сушей увеличилась примерно в 1,2 раза, на берегах возникли ветры типа бризов: днем с водохранилища на берег, ночью — с берега на водохранилище (Мусаелян, 2008).

⁶ Бриз (фр. *brise*) — ветер, который дует на побережье моря, больших озер и водохранилищ. Направление бриза меняется дважды в сутки: дневной бриз дует с акватории на разогретое дневными лучами Солнца побережье. Ночной (или береговой) бриз имеет обратное направление (Бризы // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>) (дата обращения 1.02.2017).

Таблица 3

Последствия изменения экологических функций наземной гидросферы(ЭФГ) при создании гидротехнических комплексов

ЭФГ	Виды воздействия	Объект исследований		Экологические последствия		
				позитивные	негативные	
Георесурсная	Создание водохранилищ, строительство плотин	Ресурс геологического пространства	Территории для расселения	Увеличение числа видов ихтиофауны, возрастание уловов рыбы	Изменение состава и состояния водных организмов, сокращение осетровых рыб из-за невозможности достичь мест нерестилищ.	
		Ресурсы питьевого водоснабжения		Увеличение водообеспеченности, улучшение качества воды за счет самоочищения	Снижение качества воды в прилегающих водоемах за счет увеличения минерализации	
		Ресурсы биогенных элементов и соединений		Накопление биогенных элементов в водохранилище	Сокращение потока биогенных веществ ниже плотины	
Геодинамическая	Создание водохранилищ, строительство плотин	Геологические процессы	Природные	Наводнения	Исключение катастрофических наводнений за счет аккумуляции воды в водохранилищах	Деградация растительности в связи с прекращением ежегодного весеннего увлажнения поймы и удобрения ранее затопляемых лугов плодородным илом
			Техно-природные	Затопление	Сокращение территорий с неустойчивым ведением земледелия	Перенос поселков со сложившейся системой расселения, социальной и производственной инфраструктурой
				Изменение уровней прилегающих водоемов	Не обнаружены	Дискомфорт проживания за счет снижения уровня прилегающих водоемов, обнажения дна и начала пыльных бурь
				Колебание уровней воды	Не обнаружены	Снижение численности популяции рыб и гибель водной растительности при продолжительном спаде уровней
				Волновой режим	Не обнаружены	Затруднение судоходства при возникновении волн высотой 1,5 м
Геохимическая	Наполнение и функционирование водохранилищ	Геохимические поля	природные и техногенные	Эвтрофикация поверхностных вод	Не обнаружены	Непригодность вод для питьевых целей, исчезновение ценных видов рыбы
				Загрязнение поверхностных вод	Не обнаружены	Угнетение гидробионтов, накопление токсикантов в жабрах, печени и почках рыб
Геофизическая	Сброс воды из водохранилища	Геофизические поля	техногенные	Гравитационное	Не обнаружены	Нарушения экологического равновесия экосистем-эндемиков при неконтролируемом сбросе воды
				Температурное	Интенсификация процессов жизнедеятельности и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов	Нарушение естественного равновесия экосистем за счет повышения температуры поверхностных вод, дезориентация водных организмов, снижение их естественного иммунитета

Микроклиматические последствия, связанные с увеличением скорости ветра и появлением морозных туманов в континентальном климате в зимний период, заметно ухудшают условия жизни людей и их хозяйственной деятельности.

Трансформация геохимической экологической функции атмосферы. Осушение или снижение уровней воды водохранилища приводит к обнажению донных отложений с последующим пылением грунтов,

отражающимся на составе атмосферного воздуха. Помимо пылевых частиц осушаемые грунты могут являться источником токсичных газов. До настоящего времени спуски воды при ликвидации гидрозловов в России не проводились. Известен опыт осушения пруда Зеркальный в Саратовской области, обернувшийся экологической катастрофой вследствие интенсивного выделения осушенными отложениями в атмосферу токсикантов: фенолов

(в концентрациях в 200 раз превышающих норму), сероводорода (в 75 раз) и др. (Угроза экологическо-го..., 2007).

Трансформация геофизической экологической функции атмосферы. Создание водохранилищ изменяет в регионах *температурное поле*, так как температура поверхности воды в водохранилище влияет на температуру воздуха. Так, наиболее ощутимые различия между температурами воды водохранилищ Волжского каскада приходятся не на зимний, а на переходные сезоны. В апреле разность температур в районе Саратова составляет 12°C. Лишь в июле средние месячные значения температуры воды и воздуха практически равны, а начиная с августа водохранилище способствует повышению температуры воздуха на суше, создавая более благоприятные для человека климатические условия.

В целом при создании водохранилищ сезонный и суточный ход температуры воздуха становится более плавным, амплитуда суточных изменений температуры уменьшается. Так, после создания

Волгоградского водохранилища амплитуда изменения температуры уменьшилась на 2,5°C (Мусаев-ян, 2008). Во многих случаях вода в прудах-охладителях атомных и тепловых электростанций на территории нашей страны остается открытой практически круглогодично, что изменяет погодные условия в соответствующих регионах и совокупно может оказывать влияние на климат.

Последствия трансформации экологических функций атмосферы при создании гидротехнических комплексов представлены в табл. 4.

Заключение

Создание гидротехнических комплексов и отдельных сооружений неизбежно ведет к изменению динамики всех экологических функций абиотических сфер Земли (георесурсной, геодинамической, геохимической, геофизической), но максимальные изменения претерпевают литосфера и гидросфера. Активизация природных процессов и явлений, физические и химические виды загрязнений наклады-

Таблица 4

Последствия изменения экологических функций атмосферы (ЭФА) при создании гидротехнических комплексов

ЭФА	Виды воздействия	Объект исследований		Экологические последствия	
				позитивные	негативные
Георесурсная	Создание водохранилищ	Ресурс воздушного пространства – формирование погодных условий	Бризовая циркуляция		Дневные бризы – благоприятный фактор для здоровья людей и отдыха в жаркие месяцы в условиях континентального климата
			Влажность воздуха		Ночные бризы – неблагоприятный фактор для здоровья людей в прохладные месяцы в условиях умеренного климата
Геодинамическая	Создание водохранилищ	Атмосферные процессы	Природные	Ветер	Не обнаружены
			Техно-природные	Морозный туман	Снижение комфортности проживания за счет усиления силы ветра
Геохимическая	Осушение водохранилищ	Геохимические поля	Техногенные	Запыленность воздуха в связи с обнажением и высыханием донных отложений	Не обнаружены
Геофизическая	Создание водохранилищ	Геофизические поля	Техно-природные	Температурное	Затруднение дыхания, аэральный перенос токсикантов и возбудителей болезней, ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки
				Повышение комфортности проживания за счет сглаживания температурных максимумов и минимумов	Не обнаружены

ваются на природный фон и, как правило, понижают качество ресурсного потенциала территорий, в пределах которых располагаются гидротехнические комплексы. В этих условиях экологические функции во многом теряют свои свойства, позволяющие обеспечивать оптимальные условия существования биосферы (экосистем разного иерархического уровня), а иногда могут и усугублять негативные последствия превращения природной среды в природно-техническую. Усложнение проявления, динамизм и мозаичность развития экологических функций абиотических сфер Земли обусловлены перспективами расширения гидротехнического строительства в различных формах — от водозащитных дамб и небольших плотин в затопляемых

районах до создания водохранилищ и прудов-охладителей при строительстве атомных и тепловых электростанций. Последствия трансформации экологических функций абиотических сфер Земли в этом случае, несмотря на некоторые примеры позитивного характера, в большинстве своем все-таки являются негативными с экологических позиций. Это следует признать и строить стратегию развития, в первую очередь, энергетической отрасли народного хозяйства таким образом, чтобы в каждом конкретном случае минимизировать неизбежную трансформацию экологических функций каждой из земных сфер, по возможности сберегая их функции обеспечивать оптимальные условия эволюции биосферы и существования человеческой популяции.

ЛИТЕРАТУРА

- Асарин А.Е. Взгляд на каскад. Из Гидропроекта // Экология и жизнь. 2000. № 1. С. 52–54.
- Афонин А.В., Горлачева Е.П. Ихтиофауна водоема-охладителя Харанорской ГРЭС // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. IV. Водная экология. Тр. Междунар. научн.-практ. конф. Пермь: Пермск. гос. ун-т, 2011. С. 10–13.
- Барбошкина Т.А., Харькина М.А., Жигалин А.Д. Освоение минеральных ресурсов и динамика экологических функций абиотических сфер Земли // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2015. Т. 90, вып. 4. С. 73–80.
- Волкова Л.С., Рыхлов А.Б., Волков С.А. Климато-рекреационный потенциал Волгоградского водохранилища. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 2008. 176 с.
- Гарагуля Л.С., Ершов Э.Д. (ред.). Геокриологические опасности. М.: Издательская фирма «КРУК», 2000. 316 с.
- Гидроэлектростанции СССР. М.: Минэнерго СССР, 1978. Ч. 1. 351 с. Ч. 2. 363 с.
- Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. Смоленск: Смоленский государственный ун-т, 1998. 448 с.
- Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2007 году». М.: НИИ-Природа, 2008. 408 с.
- Двуреченская С.Я., Савкин В.М., Смирнова А.И., Булычева Т.М. Динамика гидролого-гидрохимических характеристик экосистемы Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журн. 2001. № 2. С. 231–236.
- Дебольский В.К. Волжские берега // Экология и жизнь. 2000. № 1. С. 20–23.
- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. М.: ГЕОС, 2010. 190 с.
- Капчагайское водохранилище: <http://ru.wikipedia.org> (30.09.2013).
- Костицын В.Г. Влияние уровня режима камских водохранилищ на динамику промысловых рыб // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. IV. Водная экология. Тр. Междунар. научн.-практ. конф. Пермь: Пермск. гос. ун-т, 2011. С. 87–90.
- Кудерский Л.А. Полнота использования рыбных запасов в водохранилищах Волжско-Камского каскада // Изв. ГосНИИОРХ. 1989. Т. 303. С. 13–23.
- Курбатова А.С., Мягков С.М., Шныпарков А.Л. Природный риск для городов России. М.: НИИПи экологии города, 1997. 240 с.
- Максимович Н.Г., Ворончихина Е.А., Пьянков С.В. и др. Оценка мощности и экологических характеристик донных отложений водохранилища с помощью геоинформационного моделирования // Инженерные изыскания. 2011. № 1. С. 32–38.
- Мусаелян С.М. Волгоградское водохранилище: водохозяйственные и экологические проблемы. Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. 88 с.
- Наведенная сейсмичность // URL: <http://refac.ru/navedennaya-sejsmichnost/> (02.02.2017).
- Поддубный А.Г. Теория локальных стад рыб как основа управления рыбопродуктивностью внутренних водоемов // Тр. ИБВВ. Вып. 55 (58). Л.: Наука, 1988. С. 142–163.
- Попов П.А. Содержание и характер накопления металлов в рыбах Сибири // Сибирский экологический журн. 2001. № 2. С. 237–247.
- Рогозин А.Л., Бурова В.Н. Оценка и управление абразивным риском на побережье морей и водохранилищ // Инженерно-геологическая оценка урбанизированных территорий. Мат-лы Междунар. симпозиума. Т. 1. Екатеринбург: АкваПресс, 2001. С. 356–361.
- Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2000. 152 с.
- Семин В.А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды. М.: Высшая школа, 2001. 320 с.
- Скоробогатова Э.Ф. Влияние Волгоградского водохранилища на метеорологические условия прибрежной зоны Приволжской возвышенности / Ред. В.Л. Архангельский // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. Вып. 5. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1969. С. 52–65.
- Сонина Е.С. Влияние уровня режима на высшую растительность и зооперифитон крупного равнинного водохранилища // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Т. IV. Водная экология. Тр. Междунар. научн.-практ. конф. Пермь: Пермск. гос. ун-т, 2011. С. 116–121.
- Судоходство на Волге // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/2016> (26.01.2017).
- Трофимов В.Т. Об экологических функциях абиотических сфер Земли // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 2005. № 2. С. 59–65.
- Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барбошкина Т.А. и др. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.
- Трофимов В.Т., Харькина М.А., Барбошкина Т.А., Жигалин А.Д. Техногенная трансформация экологических

функций абиотических сфер земли на территории промышленно-городских агломераций и ее последствия // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2015. Т. 90, вып. 4. С. 60–72.

Трофимов В.Т., Хачинская Н.Д., Цуканова Л.А. и др. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза. М.: Академическая наука — Геомаркетинг, 2014. 566 с.

Угроза экологического бедствия в Саратовской области // URL: <https://www.ltv.ru/news/social/91212>.

Федосеева Т.П. Рекультивация земель. М.: Колос, 1977. 47 с.

Федотова А.А., Смоляков Б.С., Бортникова С.Б. Поведение тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Cd) и их влияние

на биоту // Экологическая геология и рациональное недропользование. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. С. 226–228.

Филиппова Е.С. Процесс абразии как фактор экологического состояния Волгоградского водохранилища // Современные проблемы геологии, географии и геоэкологии. Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф., посвященной 150-летию со дня рождения В.И. Вернадского. Грозный, 25–28 марта 2013 г. Махачкала: АЛЕФ (ИП Овчинников М.А.), 2013. С. 360–363.

Шварц А.А. Экологическая гидрогеология. СПб.: СПбГУ, 1996. 34 с.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.

Сведения об авторах: Трофимов Виктор Титович — докт. геол.-минерал. наук, профессор, зав. каф. инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail*: trofimov@geol.msu.ru; Харькина Марина Анатольевна — канд. геол.-минерал. наук, доц., ст. науч. сотр. каф. инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail*: kharkina@mail.ru; Барабошкина Татьяна Анатольевна — канд. геол.-минерал. наук, доц., ст. науч. сотр. каф. экономики и экономической географии стран Азии и Африки; ст. научн. сотр. каф. инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail*: baraboshkina@mail.ru; Жигалин Александр Дмитриевич — канд. геол.-минерал. наук, доц., вед. науч. сотр. ИФЗ РАН, вед. науч. сотр. каф. инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, *e-mail*: zhigalin.alek@yandex.ru