

# Трансформация эколого-геологических условий при создании гидротехнических комплексов

Харькина М. А.<sup>1</sup>, кандидат геол.-мин. наук (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет),

Вавилова В. К.<sup>2</sup>, кандидат техн. наук  
(Филиал АО "Институт Гидропроект" – "ЦСГНЭО")

Создание гидротехнических комплексов приводит к трансформации эколого-геологических условий. Изменения отражаются на качестве ресурса геологического пространства, на активизации природных и возникновении новых техно-природных геологических процессов, на плотности геохимических и геофизических полей литосферы. Представлена типизация последствий трансформации всех эколого-геологических условий, имеющих как позитивный, так и негативный характер, в местах расположения гидротехнических комплексов и на прилегающих территориях.

**Ключевые слова:** литосфера, эколого-геологические условия, ресурс геологического пространства, водохранилище, затопление, подтопление, техногенные воздействия, оползни, наведенные землетрясения, токсиканты, температурные аномалии, вибрация, перенос населенных пунктов, комфортность проживания.

## Transformation of ecological geological conditions under construction of hydro-technical complexes

Kharkina M. A., Vavilova V. K.

The creation of hydro-technical complexes leads to the transformation of environmental and geological conditions. The changes affect the resource quality of geological space, the activation of the natural and the emergence of new techno-natural geological processes, the density of geochemical and geophysical fields in the lithosphere. The typification of consequences of transformation in all environmental and geological conditions that have both positive and negative pattern of changes, in the locations of hydro-technical complexes and on adjacent territories is presented.

**Keywords:** lithosphere, ecological geological conditions, the geological resource space, reservoir, flooding, water logging, technogenic impacts, landslides, induced earthquakes, toxicants, temperature anomalies, vibration, transfer settlements, the comfort of living.

Под эколого-геологическими условиями понимается совокупность конкретных свойств (функций) литосферы, отражающих современное или палеосостояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания. Концепция экологических функций литосферы, разработанная В. Т. Трофимовым и Д. Г. Зилингом [1], предполагает выделение георесурсной<sup>1</sup>, геодинамической<sup>2</sup>, геохимической<sup>3</sup>

и геофизической<sup>4</sup> экологических функций, под которыми понимается всё многообразие проявления указанных функций и их роли в жизнеобеспечении биоты, и в первую очередь человеческого сообщества.

Ход эволюции природной среды в геологической истории Земли позволяет выделить три основных временных этапа формирования экологических функций оболочек Земли [2]. Первый этап (предгеологический) охватывает период времени существования Земли с начала её формирования как планеты. Второй этап охватывает период от возникновения жизни на планете (около 3,5 млрд. лет), с начала этого периода начинается история экологических функций сфер планеты Земля. Третий этап, который назван техногенно-природным, охватывает временной интервал порядка последних 200 лет.

Именно на третьем этапе наблюдается и с каждым годом всё увеличивается опережающее производство энергии, обеспечивающей существование человечества, его технический прогресс и рост благосостояния. Следует отметить, что использование энергии падающей или быстро текущей воды, из-

<sup>1</sup> kharkina@mail.ru

<sup>2</sup> vergor2015@mail.ru

<sup>1</sup> Георесурсная экологическая функция определяет роль органических, минеральных и органоминеральных ресурсов и ресурсов геологического пространства литосферы для жизни и деятельности биоты в качестве как биоценоза, так и социальной структуры.

<sup>2</sup> Геодинамическая экологическая функция литосферы отражает ее способность влиять на условия жизни биоты, ее состояние, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления.

<sup>3</sup> Геохимическая экологическая функция литосферы определяет свойства геохимических полей природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни и состояние биоты в целом, включая здоровье человека.

<sup>4</sup> Геофизическая экологическая функция литосферы отражает свойства геофизических полей природного и техногенного происхождения влиять на условия жизни биоты в целом, включая здоровье человека.

вестное с античных времен, сохраняется и в наши дни. Правда, 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 так же внутригодовая и многолетняя изменчивость речного стока затрудняют стабильное обеспечение населения водными ресурсами. В России, как и в большинстве регионов мира, эта проблема решается, в том числе, за счет регулирования стока рек системой водохранилищ, например Волжско-Камского и Ангара-Енисейского каскадов.

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

**Трансформация эколого-георесурсных условий** весьма существенная и может быть связана как с негативными, так и с позитивными последствиями для живых организмов. Создание гидротехнических комплексов значительно изменяет *ресурсы геологического пространства*<sup>5</sup>.

Негативным фактором является отчуждение и исключение из хозяйственного оборота в некоторых случаях значительных земельных площадей. По данным Института сельскохозяйственных изысканий, площадь затопленных земель по состоянию на 1982 г. составила в России — 4959,7, в Украине — 794,1, в Белоруссии — 45,5, в Латвии — 13,0, в Казахстане 729,5 тыс. га. (В последние три десятилетия новое гидротехническое строительство на постсоветском пространстве практически не осуществлялось и данные по площади затопленных земель

можно считать современными.) Неблагоприятные экологические последствия затопления сводятся к необходимости переноса населенных пунктов со сложившейся системой расселения, социальной и производственной инфраструктурой, к уничтожению экосистем, присущих 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. Однако даже на этих территориях экологические последствия строительства ГЭС могут быть весьма ощутимы. Так, при создании водохранилища на левом притоке р. Амур перспективной Транссибирской (Шилкинской) ГЭС по предварительной оценке необходимо перенести из зоны затопления не менее 13 населенных пунктов с населением 3500 человек. Частично затронуто может быть еще до 10 населенных пунктов [4].

*Позитивным* моментом изменения качества ресурса геологического пространства при создании водохранилищ является расширение мест водного отдыха населения, повышение рекреационных возможностей благодаря большой водной поверхности, использованию инфраструктуры, оставшейся после строительства, включая дороги, инженерные коммуникации, крепление берегов, строительство очистных сооружений и др., а также благодаря благоустройству береговой зоны в пределах населенных пунктов, включая устройство гидропарков, пляжей. Примером такого рекреационного использования береговой зоны являются равнинные водохранилища Днепровского каскада ГЭС в Украине, Волжско-Камского каскада ГЭС в России, каскада ГЭС на р. Теннесси в США [5].

Функционирование водохранилищ, входящих в состав гидротехнических комплексов, неминуемо приводит к *накоплению донных осадков и илов*. В период эксплуатации гидроузла трансформация *ресурсов биогенных элементов*, полностью покрытых водой, незначительна, хотя существенная трансформация плодородия почв отмечается ниже плотины, что связано со снижением потока биогенов, перехватываемых чашей водохранилища, и с прекращением или снижением весенних половодий. Так, до строительства Нурекской ГЭС в Республике Таджикистан на участке от выхода р. Амударья на равнину (пос. Керки) до вершины дельты (г. Нукус) за год в среднем оседало: гумуса — 1,3, N<sub>орг</sub> — 0,12, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,16 и K<sub>2</sub>O — 2,4 млн. т. Сейчас почти все эти отложения остаются в донных илах Нурекского водохранилища [6].

По окончании эксплуатации гидроузла (в случае спуска или полного заиливания водохранилища) именно состав и состояние этих отложений будут в

<sup>5</sup> Ресурсы геологического пространства — участок (объем) литосферы, пригодный для того или иного вида освоения (расселения человека и другой биоты, размещения подземных сооружений, включая хранилища радиоактивных и других отходов).

значительной степени определять ресурсную ценность “вышедшей на поверхность” территории. Как известно, существенную роль в осадконакоплении в водохранилище играет органическое вещество. Соответственно, 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 в июле 2007 г. и затоплением одного из рудников на Верхнекамском месторождении калийно-магневых солей во избежание катастрофических процессов было начато снижение уровня Нижнезыряновского водохранилища, расположенного в границах месторождения и в непосредственной близости от г. Березняки. 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 большего количества насекомых-разносчиков инфекций. Подсыхая, донные отложения стали источником пыли, загрязняющей санитарно-защитную зону водохранилища и прилегающую 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 опасном и опасном. Спуск Нижнезыряновского водохранилища был прекращен, так как нормативно предусмотренные мероприятия требовали проведения дезинфекции с последующим вывозом и захоронением загрязненных грунтов на специальных полигонах [7].

**Трансформация эколого-геодинамических условий.** Не претендуя на полноту охвата изменений всех геологических процессов при техногенных воздействиях, авторами статьи проведен анализ 30 процессов, экологические последствия которых имели существенное значение для всего живого. Характер этих изменений для живых организмов может быть не только негативным, но и позитивным. Последнее встречается реже и связа-

но, как правило, с изменением экстенсивности и интенсивности природных геологических процессов в результате хозяйственной деятельности: предотвращением наводнений при создании водохранилищ, повышением урожайности в засушливые годы в связи с подъемом уровня грунтовых вод и локальным подтоплением. Достаточно сказать, что более чем в 75 странах одной из важнейших задач построенных водохранилищ является предотвращение наводнений. Так, в России создание Волжско-Камского каскада практически ликвидировало угрозу наводнений в бассейнах этих рек, где проживают десятки миллионов людей [5].

Лидером по силе воздействия на экосистемы является горнодобывающая деятельность, изменяющая экологические последствия 52 % рассмотренных случаев. Далее следуют воздействия, связанные с созданием гидротехнических комплексов, и сельскохозяйственная деятельность. Они изменяют 34 % экологически значимых процессов [8].

Количество *оползневых проявлений* за последние 50 лет, несмотря на некоторое уменьшение строительства ГЭС в последние десятилетия, остается примерно постоянным. В среднем из-за оползней происходит три аварии в год. На этапе выемки котлована происходит 67 % оползней, при заполнении водохранилища — 15 %, а на стадии эксплуатации отмечается активизация 18 % оползней [9]. Инженерными последствиями оползней, как правило, являются перенос створов плотин, изменение проектных решений, задержка сроков строительства и др. Экологические последствия оползней — перебои в водоснабжении целых городов (например, Бухареста в июле 1991 г. в связи с аварией на ГЭС Клэбучет и ГЭС Дерешти на р. Дымбовице), эвакуация населения из опасной зоны нижнего бьефа плотины (80 тыс. жителей было эвакуировано в июле 1987 г. из долины плотины Вальтеллина в Италии), а иногда и человеческие жертвы (ГЭС Гуавьон, Колумбия, 1983 г.). Еще одним примером может служить спровоцированный грандиозным оползнем перелив воды через плотину Вайонт (Италия), который разрушил г. Лонжерон и погубил более 2000 человек [9].

Активная *переработка берегов* водохранилищ приводит к разрушениям жилых домов и других построек на берегах. По данным А. Л. Рогозина и В. Н. Буровой [10], процессы переработки берегов отмечаются на более 40 % береговой линии Горьковского, Куйбышевского, Саратовского, Волгоградского, Камского, Новосибирского и Красноярского водохранилищ. При разном типе переработки берегов скорость отступания 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 Братском водохранилище у пос. Артемей всего за пять лет берег отступил на 759 м. На Красноярском водохранилище у пос. Куртак береговая зона, сложенная лессовыми породами, отступила на 400 м [6]. 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 [10]. Этот факт подтверждается работами И. С. Соболя с соавторами [11] по исследованию изменения длины береговой линии больших равнинных водохранилищ за долговременный период эксплуатации. Обобщение данных по 14 большим равнинным водохранилищам позволило установить сроки активной переработки берегов водохранилищ. Увеличение длины береговой линии происходит после периода начальной эксплуатации до возраста 40 – 60 лет с интенсивностью 0,25 % в год.

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 значительных 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 [12].

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.

Активизация *карстовых процессов* отмечается при заполнении водохранилищ, расположенных на растворимых породах. Карст представляет собой совокупность геологических процессов, вызванных химическим растворением горных пород. Подъем уровня воды резко увеличивает фильтрационные градиенты и усиливает фильтрацию. В этих условиях активизируются процессы растворения и выщелачивания пород движущимися подземными водами. В результате изменяется структура и строение карстующихся пород, они становятся водопроницаемыми. Происходит образование пустот, каналов, пещер и других подземных полостей.

Негативные последствия активизации карстовых процессов сводятся в основном к *невозможности удержания воды в водохранилище*, как это отмечалось, например, на гидроузлах Хэлс Бар (США), Сен-Гильельм-ле Дезер (Франция), Докан (Ирак), Камараза и Монте-Хака (Испания) [13]. Следует отметить, что в большинстве случаев неблагоприятные последствия из-за активизации кар-

ста наблюдались на плотинах, возведенных в конце девятнадцатого и первой половине двадцатого века, когда инженерно-геологическим изысканиям, и в частности карстовым процессам, уделялось мало средств и внимания. По данным А. А. Гельфера [14], в связи с проявлением карстовых процессов в 1890 г. произошло пять аварий плотин, в 1916 г. количество их достигло максимума — 20 аварий, а в период с 1931 по 1935 г. ежегодно фиксировалось 1 – 5 аварий.

Экологические последствия активизации карста могут носить и катастрофический характер. Так, в 1926 г. многочисленные человеческие жертвы зафиксированы при разрушении арочно-гравитационной плотины Сент-Френсис в США. Одной из причин катастрофы послужило выщелачивание гипсов в ее основании [13].

В России известен позитивный опыт гидротехнического строительства на закарстованных основаниях, например, на Камской ГЭС (1958 г.), хотя при эксплуатации этого объекта не удалось избежать осложнений, связанных с необходимостью уплотнения цемзавесы методами технической мелиорации [15].

Строительство гидротехнических комплексов в сейсмически активных районах приводит к проявлению *наведенных землетрясений*. Так, возбужденная сейсмичность неоднократно отмечалась в период наполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС [16]. За историю гидротехнического строительства есть несколько примеров, когда такие землетрясения имели значительные экологические последствия. Так, например, наведенное землетрясение, связанное с наполнением водохранилища Койнангар в Индии и произошедшее в 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 оставило без крова [9].

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. м<sup>3</sup>, образующуюся каждую зиму в нижнем бьефе в 0,5 км от плотины Билибинской АЭС за счет утечек из водохранилища. Оттаивание под плотиной руслового талика на глубину до 100 м не только вызвало увеличение с каждым годом утечек из водохранилища и рост наледи, но и 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 источни-

ком загрязнения вод ручья Большой Поннеурген, протекающего в зоне пос. Билибино [17].

Отметим опасности *гидролакколитов*, образующихся чаще всего при намыве земляных плотин в криолитозоне в местах разгрузки напорных межмерзлотных вод. Мощные взрывы больших гидролакколитов (высотой до 5 – 7 м), при которых отдельные глыбы льда размерами 1 – 2 м разлетаются на расстояния до 100 м, угрожая жизни людей и животных [17].

**Трансформация эколого-геохимических условий.** Процесс трансформации эколого-геохимических условий под воздействием гидротехнических комплексов протекает в несколько стадий и начинается практически со времени строительства гидротехнических сооружений и заполнения водохранилища. Возведение плотины приводит к механической миграции вещества, и фактически имеет место изменение структуры природных геохимических полей. При создании водохранилищ и перестроении берегов происходит преимущественное загрязнение вод быстро растворимыми или взмучиваемыми веществами.

На следующей стадии, вследствие смены проточного режима вод на застойный, поступления естественных стоков с водосборов, разложения больших масс органического вещества почв, растительных остатков, древесины и т.п., в верхнем бьефе гидротехнических комплексов идет образование фенолов, накопление биогенов и других веществ [18]. В откладывающихся на дне водохранилищ илах осуществляется нарастающее с течением времени накопление тяжелых металлов и металлоорганических соединений, формируются *техногенные геохимические барьеры*.

Ретроспективный и современный анализ донных осадков и гидрохимического состояния вод, например, Новосибирского водохранилища позволяет сделать вывод о стабильном присутствии в его водах ряда приоритетных токсикантов<sup>6</sup>: фенолов; нефтепродуктов; соединений, содержащих ионы аммония; реже — нитритов; соединений тяжелых металлов. Как следствие, происходит *смена доминирующих форм фито- и зоопланктона, фито- и зообентоса, рыб*.

П. А. Попов [19], 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. У особей размером 7 – 10 см отмечено превышение по железу в 3 раза, никелю в 6 раз, цинку в 2,5 раза. Характер распределения металлов по ор-

ганам и мышечной ткани в размерно-возрастных группах существенно различается.

При функционировании гидротехнических сооружений основное влияние на подземные воды оказывают процессы, связанные с подъемом или понижением уровня воды, т.е. преимущественно за счет *гидродинамического воздействия*. При значительных повышениях уровня последних поверхностные воды начинают питать гидравлически связанные с ними подземные водоносные горизонты, что часто приводит к химическому и бактериальному загрязнению последних и, как следствие, к необходимости строительства дополнительных очистных сооружений на водозаборных скважинах [20].

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 Нижнезырянского водохранилища, очень велико, а даже катастрофично [7]. 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 эколого-геофизических условий.** При создании гидротехнических сооружений наибольшему изменению подвержены температурное и сейсмоакустическое поля [2].

Трансформация температурного поля с формированием *температурных аномалий* свыше 5 – 10 °С обусловлена созданием обширных водохранилищ (особенно в равнинных местностях), приводящим 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 способствуют изменение уровня грунтовых вод, создание искусственного подпора воды и фильтрационные явления. Наиболее существенными оказываются последствия трансформации тепловых полей в районах распространения многолетнемерзлых пород. При средней температуре минус 2 – 5 °С многолетнемерзлых пород в местах их преимущественного распространения прогрев грунтовой толщи на участках нахождения аномалий теплового поля приводит к деградации многолетней мерзлоты, замене сплошной мерзлоты на островную. Это неизбежно влечет за собой изменение экологической обстановки, вынужденную замену эндемических экосистем.

<sup>6</sup> Токсиканты — токсичные вещества, вредные для живых организмов.

**Последствия изменения эколого-геологических условий (ЭГУ) при создании гидротехнических комплексов**

| ЭГУ                     | Виды воздействия                                                                                | Объекты воздействия                                 |                                                              | Последствия                                                                    |                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                                                 |                                                     |                                                              | позитивные                                                                     | негативные                                                                                                                                                                                |
| Эколого-георесурсные    | Затопление земель водохранилищами                                                               | Ресурс геологического пространства                  | Территории для расселения                                    | Распространение пресноводных рыб (сазан, лещ и др.)                            | Сокращение численности многих наземных животных, площади лесных массивов. Отчуждение площади и переселение жителей                                                                        |
|                         |                                                                                                 |                                                     | Территории 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                                        |
| Эколого-геодинамические | Создание водохранилищ                                                                           | Геологические процессы, природные и техно-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 наполнения водохранилища 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                                                                                |
|                         |                                                                                                 |                                                     | 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                                                                                                                                                                              |
| Эколого-геохимические   | Создание водохранилищ                                                                           | Геохимические поля, природные и техногенные         | Донные отложения                                             | Нет                                                                            | Ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки при спуске воды из водохранилища                                                                                                        |
|                         |                                                                                                 |                                                     | Подземные воды                                               | Нет                                                                            | Угроза заболеваемости в связи с ухудшением качества питьевой воды                                                                                                                         |
| Эколого-геофизические   | Создание водохранилищ, работа турбин ГЭС, движение воды по деривационным туннелям и водосбросам | 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                                                                                                                                             |

Существенные изменения эколого-геофизических условий прослеживаются в *сейсмоакустическом поле*. Сейсмоакустическое поле (поле природных микросейсм, техногенное акустическое и вибрационные поля) заметно изменяет геофизические условия в зонах, примыкающих к гидротехническому сооружению.

Природные микросейсмические колебания (микросейсмы), 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 техногенное акустическое и вибрационное поля. Аномалии акустического (шумового) и вибрационного полей связаны с работой турбин, движением воды по деривационным туннелям и водосбросам, работой машин и механизмов, относящихся к гидросооружению. Шумовые аномалии достигают 10 – 50 дБ(А), вибрационные — 20 – 60 дБ [2].

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

## Выводы

Создание гидротехнических комплексов и их отдельных сооружений неизбежно ведёт к изменению эколого-геологических условий, включая эколого-георесурсные, эколого-геодинамические, эколого-геохимические, эколого-геофизические. При этом активизация природных процессов и явлений, физический и химический виды загрязнений накладываются 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 обеспечивать оптимальные условия существования биосферы (экосистем разного иерархического уровня), а иногда могут и усугублять негативные последствия превращения природной среды в природно-техническую. Усложнение проявления и динамизм развития эколого-геологических условий обусловлены, в том числе, факторами гидротехнического строительства, при этом последствия их трансформации, несмотря на случаи позитивного характера, в большинстве своём всё-таки являются негативными с экологических позиций. Это следует признать и строить стратегию развития гидротехнических объектов водного хозяйства таким образом, чтобы в каждом конкретном случае искать возможности минимизировать их неизбежную трансформацию,

обеспечивая оптимальные условия эволюции биосферы и существования человеческой популяции.

## Список литературы

1. *Экологические функции литосферы* / Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г., Барабошкина Т. А. и др. / Под ред. В. Т. Трофимова. — М.: Изд-во МГУ, 2000.
2. *Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза* / Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г., Барабошкина Т. А., Жигалин А. Д., Харьковина М. А. / Под ред. В. Т. Трофимова. — М.: Изд-во “Ноосфера”, 2006.
3. *Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2007 году”*. — М.: НИИ-Природа, 2008.
4. *Львовский В. А., Иванов В. М., Чумаков В. В.* Противопаводковые ГЭС в бассейне р. Амур // Гидротехническое строительство. 2017. № 3.
5. *Энергетика: история, настоящее и будущее. Электроэнергетика и охрана окружающей среды. Функционирование энергетики в современном мире* / Т. А. Бурячок, З. Ю. Буцко, Г. Б. Варламов, С. В. Дубовский, В. А. Жовтянский. — К.: Сигнал, 2011.
6. *Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза* / В. Т. Трофимов, Н. Д. Хачинская, Л. А. Цуканова и др. — М.: Академическая наука — Геомаркетинг, 2014.
7. *Максимович Н. Г., Пьянков С. В.* Малые водохранилища: экология и безопасность. — Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012.
8. *Харькина М. А.* Деятельность, угрожающая жизни // Энергия: экономика, техника, экология. 2004. № 12.
9. *Горбушина В. К.* Воздействие оползневых процессов на строительство и эксплуатацию гидроэнергетических сооружений // Гидротехническое строительство. 1997. № 10.
10. *Рогозин А. Л., Бурова В. Н.* Оценка и управление абразионным риском на побережье морей и водохранилищ // Инженерно-геологическая оценка урбанизированных территорий: Матер. межд. симпозиума. — Екатеринбург: Аква-Пресс, 2001. Т. 1. С. 356 – 361.
11. *Соболь И. С., Соболь С. В., Крупинов А. С.* Об изменении длины береговой линии водохранилищ // Водное хозяйство России. 2014. № 6.
12. *Курбатова А. С., Мягков С. М., Шныпарков А. Л.* Природный риск для городов России. — М.: НИИПи экологии городов, 1997. — 240 с.
13. *Лыкошин А. Г., Молоков Л. А., Парабучев И. А.* Карст и строительство гидротехнических сооружений. — М.: Гидропроект, 1992. — 332 с.
14. *Гельфер А. А.* Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. — М.-Л.: Глав. ред. строит. лит., 1936. — 319 с.
15. *Максимович Н. Г.* Изменение свойств силикатных тампонажных материалов, применяемых при технической мелиорации грунтов // Инженерная геология. 2012. № 4. С. 14 – 24.
16. *Марчук А. Н., Марчук Н. А.* Геологические и геодинамические аспекты в комплексе причин аварий на Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2012. № 1.
17. *Геокриологические опасности* / Под ред. Л. С. Гарагуля, Э. Д. Ершова. — М.: Издательская фирма “КРУК”, 2000.
18. *Семин В. А.* Основы рационального водопользования и охраны водной среды. — М.: Высшая школа, 2001. — 320 с.
19. *Попов П. А.* Содержание и характер накопления металлов в рыбах Сибири // Сибирский экологический журнал. 2001. № 2. С. 237 – 247.
20. *Шварц А. А.* Экологическая гидрогеология. — СПб: СПбГУ, 1996.