

УДК 550.24.031:004.9(571.52)

© О.Д. Аюнова, О.И. Кальная

О.Д. Аюнова, О.И. Кальная

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ В ИЗУЧЕНИИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ШАГОНАРСКОГО ПЛЕСА САЯНО-ШУШЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Введение

Создание водохранилищ на реках связано с изменением природных условий как в самой речной системе, так и на прилегающих территориях. Водохранилища оказывают довольно сложное и неоднозначное воздействие на все компоненты окружающей среды: рельеф, гидрологический режим рек, режим подземных вод, климат, почвы, растительный покров, животный мир и ландшафтную структуру в целом [5].

Многофакторное воздействие водохранилищ на природную среду определяет необходимость комплексного подхода в изучении характера и степени его влияния. Геоинформационные системы и методы в настоящее время активно используются в научных и прикладных целях при исследовании крупных водных объектов [1, 4]. ГИС позволяют решать задачи интеграции и структурирования данных, визуализации, анализа, картографического моделирования, мониторинга различных процессов, что и было использовано нами при оценке геоэкологических последствий эксплуатации Саяно-Шушенского водохранилища на территории Тувы.

Строительство крупнейшей в России Саяно-Шушенской ГЭС, расположенной в Карловом створе реки Енисей, привело к созданию водохранилища протяженностью 250 км. Около 60 км затопления приходится на степную Улуг-Хемскую котловину, где образуется озеровидное расширение (Шагонарский плес) (рис. 1) с площадью акватории 262 км². Площадь мелководий глубиной до 1 м составляет 7,5 км², минимальная и максимальная ширина – 3 и 12 км, максимальная глубина при нормальном подпорном уровне (НПУ, 540 м) достигает 25 м.

Сезонный характер регулирования стока Саяно-Шушенского водохранилища и очень большая сработка уровня (до 40 м) определяют важнейшую особенность функционирования Шагонарского

озеровидного расширения – его периодическое существование как водоема, что препятствует формированию устойчивой экосистемы (водной или наземной) в пределах затапливаемой территории.

В пределах Шагонарского озеровидного расширения ход уровня выглядит следующим образом: весеннее наполнение начинается с конца мая – начала июня; летне-осеннее стояние уровня, достигающее отметки, близкой к НПУ, отмечается в июле-августе; осенне-зимняя сработка охватывает осень, зиму и первые весенние месяцы. Весной лед ложится непосредственно на днище затапливаемого участка. В зависимости от погодных условий, днище освобождается ото льда в конце апреля – начале мая. В это время Верхний Енисей течет в своем природном русле, ложе водохранилища полностью осушается. Ежегодно эти фазы повторяются.

Таким образом, ложе Шагонарского плеса представляет собой уникальный природно-техногенный объект, находящийся попеременно в аквальных и в субаэральных условиях. Сезонная ритмика существования водохранилища является основным фактором изменения ландшафтов затапливаемой территории и диктует специфику применения пространственных методов изучения и средств анализа этого уникального объекта.

Комплексное изучение площади, попавшей под затопление, в том числе и в Туве, было начато институтом «Ленгидропроект» в 60-е годы XX века. В отчете содержится полная информация о фоновом состоянии территории до ее затопления. В период наполнения водохранилища изучение геоэкологического состояния озеровидной части водохранилища и прилегающей территории проводилось эпизодически различными организациями [7, 8]. С 2005 г. Шагонарский плес и прибрежная территория изучались сотрудниками ТувИКОПР СО РАН. Исследования проводились в период полной сработки

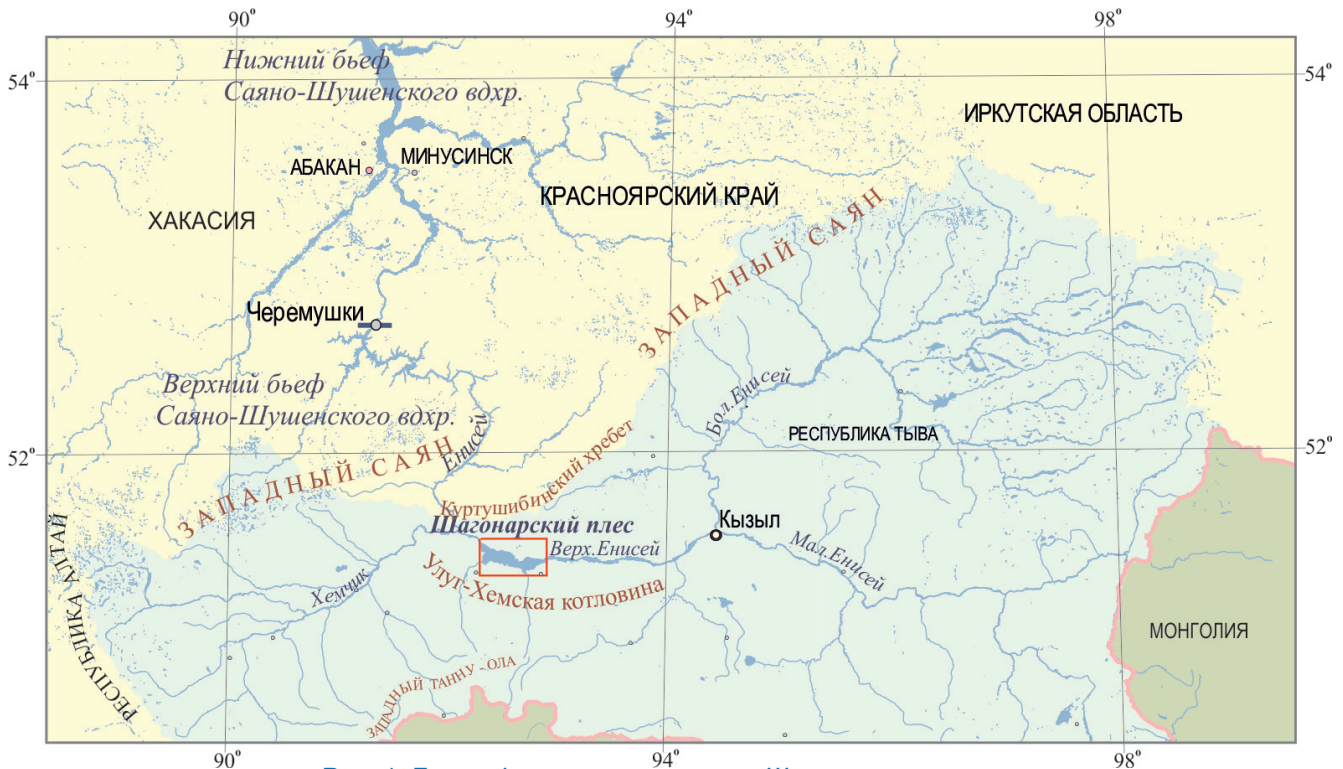


Рис. 1. Географическое положение Шагонарского плеса

и во время наполнения водоема. Комплекс работ при полном осушении ложа включал отбор проб донных отложений на определение тяжелых металлов, изучение динамики экзогенно-геологических процессов, растительного и почвенного покровов, установление источников техногенного загрязнения. В летне-осенний период при наполнении водоема исследовались качество вод водохранилища и его притоков, гидробионты и видовой состав рыб. В 2008-2010 гг. работы выполнялись при поддержке гранта РФФИ 08-05-98083-р_сибирь_a «Изучение динамики геоэкологического состояния береговой зоны и акватории Саяно-Шушенского водохранилища на территории Тувы с применением геоинформационных систем».

Создание геоинформационной системы Шагонарского плеса Саяно-Шушенского водохранилища

По результатам изученности воздействия Шагонарского плеса за период его существования разработана региональная ГИС «Саяно-Шушенского водохранилища на территории Тувы». В среде ГИС создан комплекс карт природной среды и геоэкологической изученности района Шагонарского плеса (рис. 2), на основе которых проанализированы современное состояние и динамика антропогенных процессов площади затопления и прилегающей территории, возникших в результате эксплуатации водохранилища.

Структура ГИС

Проект реализован в ArcGIS 9, пространственные данные хранятся в формате шейп-файлов. Основные топологические слои созданы на базе электронных топографических карт линейки масштабов 1:100 000 (ГосГИСЦентра Роскартография) и 1:25 000 (созданной авторами самостоятельно). Создание крупномасштабной топокарты обосновывалось детальностью изучения экзогенно-геологических процессов береговой зоны Шагонарского плеса.

Анализ воздействия Шагонарского плеса на окружающую среду

В среде ГИС создан ряд карт и схем, отражающих природные условия района (рис. 2), сопряженные в дальнейшем с результатами современных исследований. Внедрение геоинформационных систем позволило существенно расширить использование топографических и тематических карт, которые содержат большой объем информации. На этапе полевых работ с помощью ГИС решались задачи привязки точек опробования, картирования элементов наблюдений.

Озеровидное расширение или Шагонарский плес приходится на Улуг-Хемскую котловину (рис. 1), где занимает понижение между южными склонами Куртушибинского хребта и северными склонами хребта Западный Танну-Ола. Геоморфология района отражает геологическое развитие

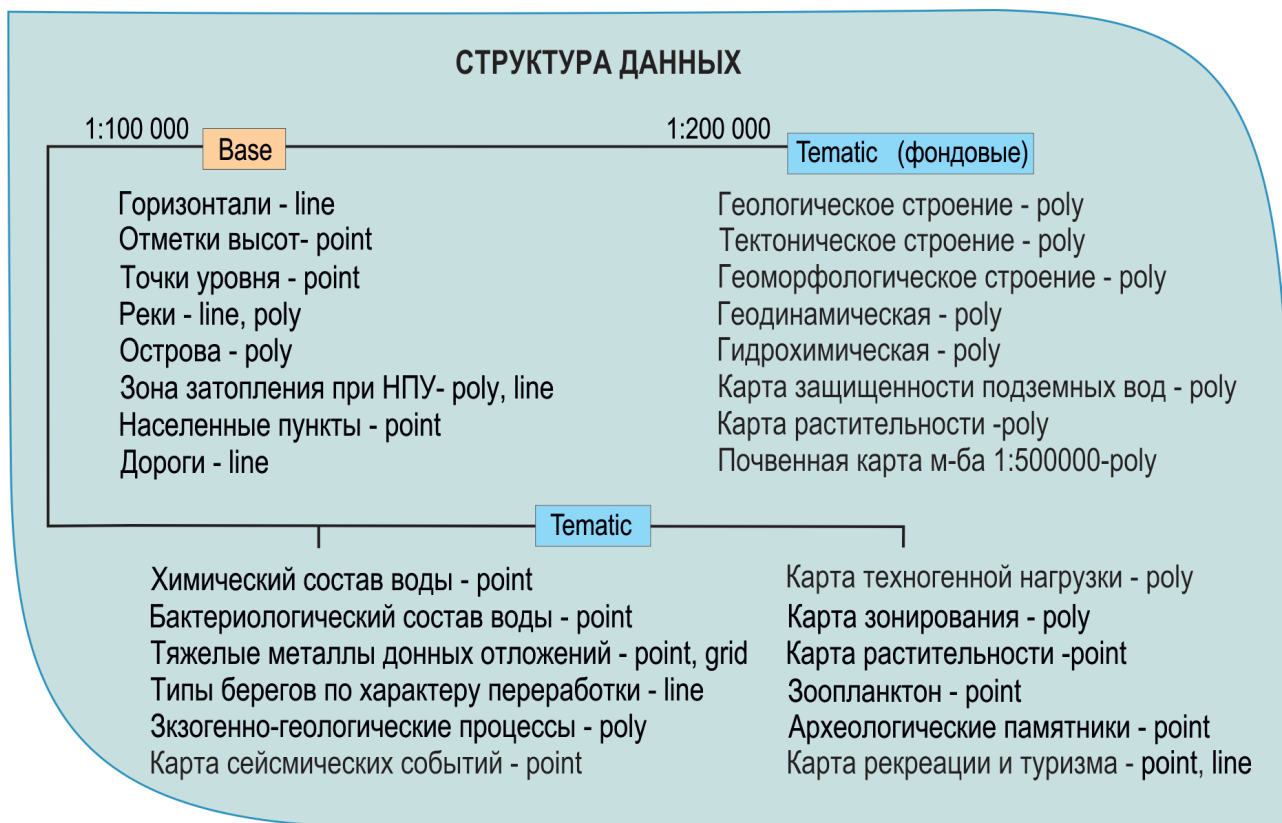


Рис. 2. Структура геоинформационной базы данных

площади. В неогене территория, выровненная мезокайнозойскими процессами денудации, испытала неравномерные блоковые вертикальные движения, приведшие к образованию сложных систем сводовых поднятий и опусканий, оживлению старых и заложению новых разломов. К эоплейстоцену приурочена основная фаза кайнозойского орогенеза для всей горной области юга Сибири. Интенсивные тектонические движения привели к образованию структуры прогибания – Тувинской, ограниченной по разломам субширотного простирания крупными блоковыми структурами поднятий: с севера – Западно-Саянской, с юга – Западно-Таннуольской. К Тувинской структуре прогибания принадлежит Улуг-Хемская котловина. При наполнении Саяно-Шушенского водохранилища в западной части Улуг-Хемской котловины образуется озеровидное расширение (рис. 1).

На изучаемой территории отмечается ряд дизъюнктивных структур, среди которых выделяются долгоживущие разломы глубинного заложения, региональные и локальные разломы (рис. 3). Крупнейшей дизъюнктивной структурой является Хемчикско-Куртушибинская зона разломов, расположенная севернее, или Саяно-Тувинский разлом, имеющий субширотное или юго-восточное простирание. Анализ современной сейсмичности (1965-2016 гг.) показывает, что эпицентры наиболее

сильных землетрясений большей частью тяготеют к зоне разломов субширотного направления в районе Саяно-Тувинского разлома и хребта Западный Танну-Ола (рис. 1), где концентрируется максимальное количество современных сейсмических событий. Отдельные эпицентры землетрясений с энергетическим классом до 11,4 наблюдаются в непосредственной близости от водоема и в пределах его ложа (рис. 3). Нахождение площади водоема в непосредственной близости к зонам сейсмической активности диктует необходимость ведения мониторинга сейсмических событий на данной территории.

Саяно-Шушенское водохранилище включено в перечень 70 водоемов, являющихся стратегическими источниками питьевой воды, находящихся в исключительной федеральной собственности. Использование их водных ресурсов осуществляется для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения значительных территорий одного или нескольких субъектов Российской Федерации, что определяет важность организации системы контроля эколого-биологического состояния вод водохранилища. Факторы, формирующие качество воды в водохранилище, определяются природными условиями региона, в том числе геологическим строением района, гидрологическим режимом (условиями регулирования поступающего стока), а также степенью загрязнения реки, на базе которой

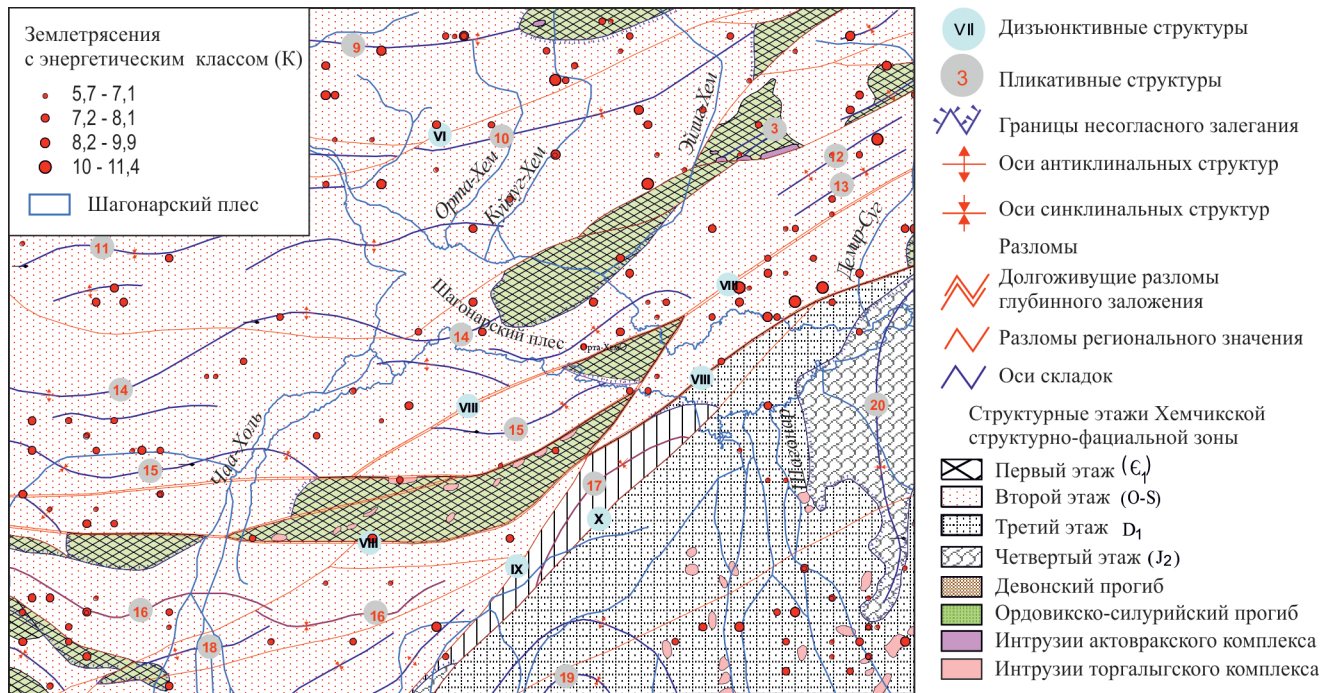


Рис. 3. Тектоническая схема района Шагонарского плеса с эпицентрами землетрясений

создано водохранилище, качеством воды притоков, впадающих в водоем.

В ГИС сведены данные химического и бактериологического состояния водоема и впадающих в него притоков за период начиная с 2006 г. Базы показателей сформированы по результатам исследований различных организаций и составляют экологическую часть ГИС-проекта. Структура базы включает слой пунктов наблюдений, базу результатов анализов и нормативную базу со значениями предельно-допустимых концентраций (ПДК). Таблицы данных представляют собой результаты измерений параметров состояния водных объектов, сгруппированных по месту и времени наблюдения и организациям, осуществляющим отбор проб (рис. 4).

Шагонарский плес используется как рыбохозяйственный водоем, и для оценки качества вод использовались предельно-допустимые концентрации для вод рыбохозяйственных водоемов [9]. Анализ химического состава вод водохранилища и его притоков показал, что резких отличий в химическом составе, содержании тяжелых металлов и загрязняющих компонентов техногенного характера в местах опробования не наблюдается. По минерализации воды во всех точках обследования от ультрапресных до пресных ($M = 0,1-0,46$ г/л), более высокая минерализация отмечается в притоках водохранилища (0,46 г/л). Водная среда в целом остается от нейтральной до слабощелочной, рН колеблется в пределах 7,10-8,60,

содержание нитритов и нитратов не превышает норм для вод рыбохозяйственных водоемов. В водах водохранилища, в отличие от других пунктов обследования, отмечается периодическое повышение содержания фенолов от 1 до 2,2 ПДК, что может объясняться плохой очисткой сточных вод г. Шагонар, установленной в период наблюдений.

Содержание макрокомпонентов (анионов и катионов) находится в пределах требований для вод рыбохозяйственных водоемов. Железо общее в последние годы (2006-2012) не превышает ПДК. Содержание таких тяжелых металлов, как цинк, свинец, кадмий, никель, кобальт, хром не выше порога ПДК. Содержание мышьяка и ртути определяется на пределе чувствительности прибора и соответствует норме. Отмечается повышенное содержание ионов меди во всех обследованных водах в водохранилище – 1,9-7,8 ПДК, в притоках – 2,1-8,4 ПДК, что имеет природный характер и может объясняться контактом поверхностных вод верховий Енисея с медьсодержащими породами и рудами крупных месторождений: Кызыл-Таштыг (полиметаллическое), Кызык-Чадр (медно-молибден-золоторудное), Ак-Суг (медно-молибденовое). Установлено, что до 2003 г. наблюдалось стабильное загрязнение водоема нефтепродуктами. Их содержание колебалось в пределах 0,064-0,219 мг/л, что составляет 1,28-4,38 ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов. В настоящее время содержание нефтепродуктов соответствует норме.

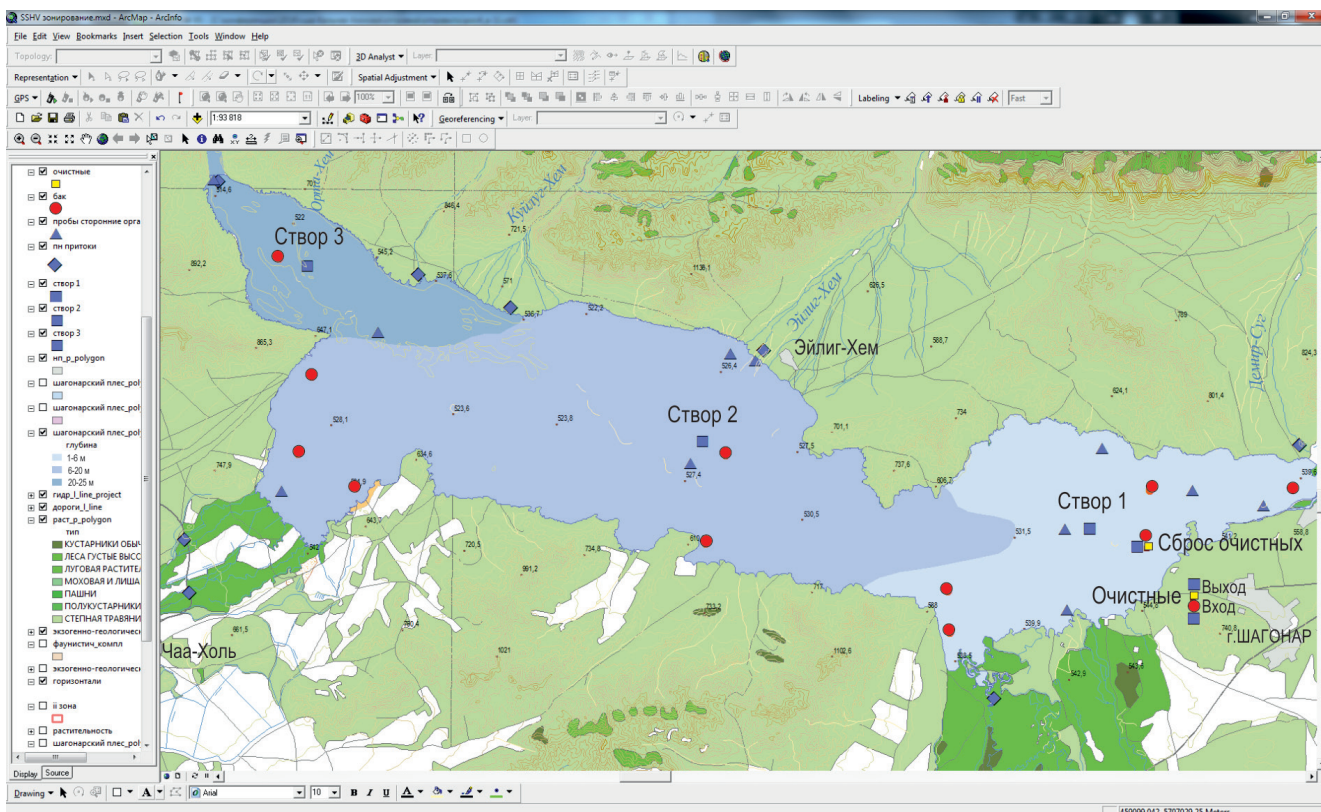


Рис. 4. Пункты отбора водных проб

Воды Шагонарского плеса отмечены как неустойчивые по бактериологическим показателям. В разные периоды в пробах выявлялись термотолерантные колиформные бактерии от 2,1-9,3 ПДК, а также энтерококки до 3 КОЕ в 100 мл при норме «не допускается» [10]. Повышение содержания термотолерантных колиформных бактерий отмечается в восточной части плеса.

По показателю индекса загрязнения воды (ИЗВ) характеристика вод озеровидной части водохранилища колеблется от чистых (2006 г.) до загрязненных (2009-2011 гг.), по удельному комбинаторному индексу загрязненности (УКИЗВ) воды характеризуются как загрязненные во все периоды обследования.

Наиболее значимыми источниками загрязнения воды являются сбрасываемые напрямую в зоне выклинивания подпора сточные воды очистных сооружений г. Шагонар (рис. 4). Нарушение использования береговой природоохранной зоны и ложа водохранилища в период осушки, связанное с выпасом скота в весеннее время, также приводит к бактериологическому загрязнению водоема.

Шагонарский плес является основной дренажной бассейна реки Верхний Енисей, включая бассейны Большого и Малого Енисеев. В настоящее время, в связи с освоением месторождений полезных ископаемых и созданием новых горнодобывающих пред-

приятий, бассейн реки Верхний Енисей испытывает возрастающую антропогенную нагрузку. Освоение полиметаллического сульфидного месторождения Кызыл-Таштыг, разработка россыпных и коренных месторождений золота, угледобывающие предприятия, сбрасывающие шахтные воды в поверхностные водотоки, вносят вклад в загрязнение рек, несущих свои воды в Саяно-Шушенское водохранилище. В качестве прямых источников воздействия выступают также неблагоустроенные населенные пункты и животноводческие предприятия, выполняющие водоотведение непосредственно в водные объекты. Значительное количество загрязняющих веществ поступает с тальми и дождевыми водами.

Донные отложения являются одним из важных элементов экосистемы водохранилища. Совместно с водной средой донные отложения представляют собой сложные и многокомпонентные системы, где происходят адсорбция, седиментация, соосаждение, гидролиз [2]. В настоящее время верхняя часть донных отложений Шагонарского плеса представляет собой наилок. Это мелкодисперсная фракция (песчаные, пылеватые и глинистые частицы), которая образуется в результате разрушения рыхлых пород, слагающих берега, а также приносится самой рекой Верхний Енисей в виде твердого стока и скапливается на дне водоема, адсорбируя тяжелые металлы.

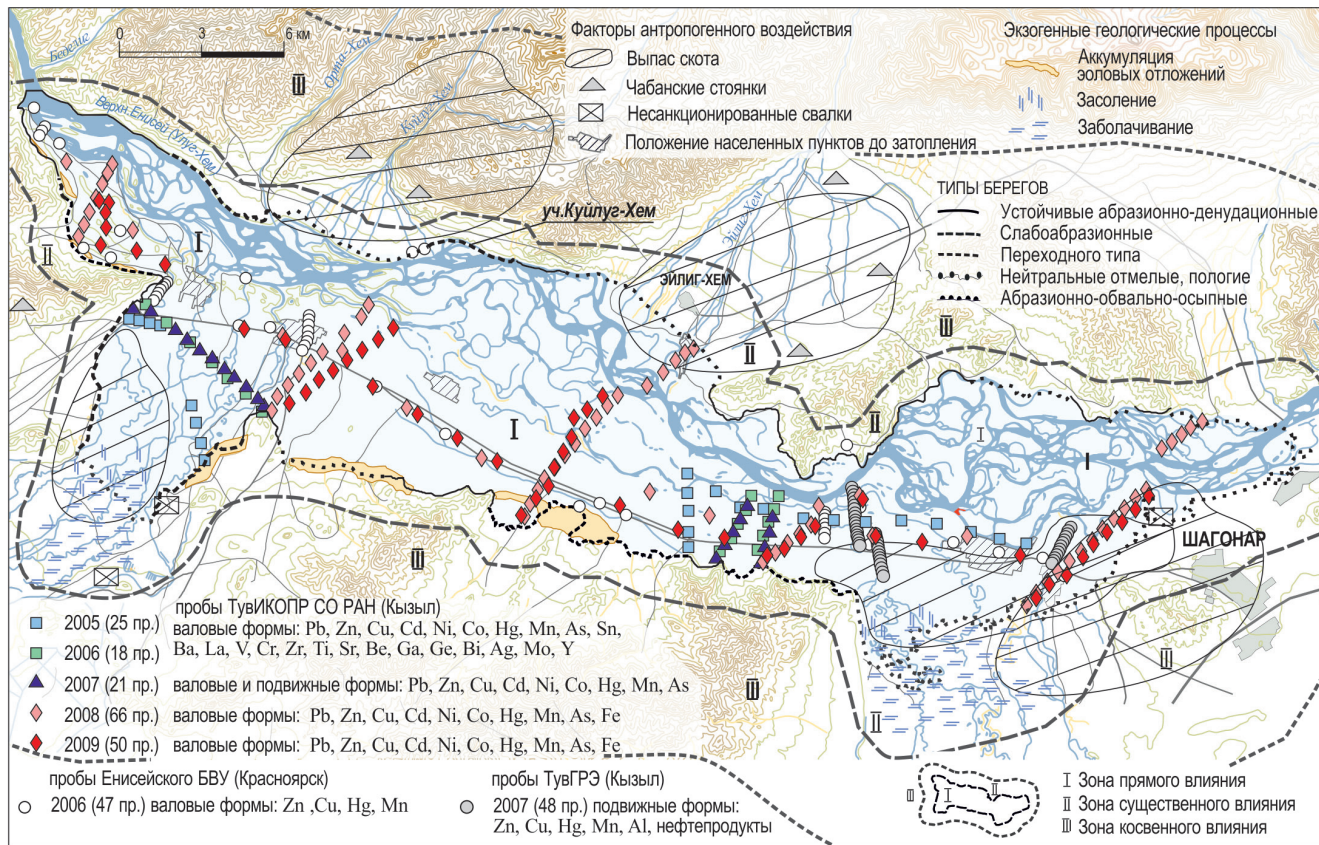


Рис. 5. Схема зонирования Шагонарского плеса и прилегающей территории. Развитие экзогенных геологических процессов. Схема опробования донных отложений ложа водохранилища

В геоморфологическом отношении затопляемые участки представляют собой пойму, первую и частично вторую надпойменные террасы реки Верхний Енисей, а также приустьевые пойменные участки рек Шагонар, Торгалыг, Чаа-Холь, Бай-Булун, Эйлиг-Хем, Куйлуг-Хем, где располагались до затопления пахотные земли, сенокосы, пастбища, несколько поселков и город Шагонар (рис. 5). Затопленные земли изначально несли антропогенную нагрузку и, вероятно, в той или иной степени были загрязнены тяжелыми металлами. Положение профилей отбора и анализируемые элементы представлены на рис. 5. Накопление тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях ложа водохранилища изучались с 2005 года. Пробы отбирались в период сработки водоема. Составлены базы данных химических показателей донных отложений. Анализ содержания тяжелых металлов в донных отложениях проводился в соответствии с «Нормами и критериями оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга» (2011). Анализ показал незначительные превышения содержания элементов Hg, Ni, Cd в разных точках ложа по отношению к ПДК.

За период эксплуатации водоема в береговой зоне озеровидной части интенсивно проявились экзогенные процессы, связанные с абразией (подмыв и обрушение берегов), выветриванием горных пород в полосе осушки, движением и отложением наносов, золовыми процессами, заболачиванием и засолением грунтов.

В развитии берегов и котловин озерных водохранилищ, к которым относится Шагонарский плес, стадия интенсивного переформирования сменяется стадией затухания переработки берегов и слабого преобразования ложа. Изучению инженерно-геологических условий, берегоформированию и прогнозу переработки берегов Саяно-Шушенского водохранилища посвящен ряд работ В.С. Кусковского [6] и др. На основе ретроспективного анализа результатов изученности береговой зоны проведен анализ современных форм проявления и интенсивности развития процессов берегоформирования.

В озеровидной части водохранилища наблюдается достаточно сильная дифференциация берегов по составу слагающих их горных пород. С учетом ранее проведенных работ и в соответствии с геологическим строением выделено 5 типов берегов по

характеру абразии, в ходе полевых наблюдений уточнено их пространственное расположение (рис. 5). Активизацией абразионных процессов затронуты лишь отдельные участки, сложенные рыхлыми породами, где наблюдается интенсивный подмыв и обрушение берегов. На склонах, сложенных коренными породами, процессы разрушения находятся в самом начале развития. На основе топографической карты 1:25 000 масштаба построена береговая линия Шагонарского плеса, проведена градация линии по типам переработки берегов и рассчитана их протяженность.

Наиболее протяженными (46,6 км) являются берега устойчивые абразионно-денудационного типа, развивающиеся на сопряжении уровня водохранилища с коренными породами (III класс устойчивости). Этот тип берегов распространен по обоим бортам водохранилища. Здесь абразия практически не проявляется или проявляется в слабой степени, где она сочетается с интенсивными процессами выветривания коренных пород в полосе осушки. На участках, сложенных аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями, имеющими пологие углы склонов (от 3-4° до 5-7°), формируются слабо абразионные берега. Здесь абразионные процессы развиваются в

гораздо меньших масштабах, отмечается незначительная подрезка склонов с образованием небольшого уступа в рыхлых отложениях высотой 0,2-0,5 м. Протяженность таких берегов составляет 43 км. Берега переходного типа от обвально-осыпных к устойчивым формируются на делювиально-пролювиальных шлейфах, постепенно переходящих в денудационные склоны с маломощным чехлом делювия. В начальный период наполнения водохранилища здесь развиваются абразионные обвально-осыпные берега, затем – устойчивые. Протяженность берегов этого типа составляет около 22,7 км. В настоящее время на этих участках фиксируются слабо абразионные процессы с формированием незначительных уступов (0,3-0,4 м) в рыхлых породах. Нейтральные пологие берега без обрушений отмечаются на участках затопления аллювиальных равнин, плоских поверхностей пойм. Здесь формируются пологие берега с отсутствием абразионных процессов, протяженность – 32,9 км. Абразионные обвально-осыпные берега имеют протяженность 24 км (14,2%). Сложены делювиально-пролювиальными, аллювиально-пролювиальными, озерно-аллювиальными отложениями и характеризуются максимальной степенью процессов подмыва и разрушения.



Рис. 6. Абразионный обвально-осыпной берег. Участок Куйлуг-Хем

Наиболее интенсивная степень переработки берегов этого типа отмечается на обвальном участке Куйлуг-Хем (рис. 6). Динамика отступления Куйлуг-Хемского уступа изучалась в ТГРЭ (Тувинская геолого-разведочная экспедиция) с 1990 года и прекращена в 2004 году в связи с отсутствием финансирования. В 2009-2011 гг. нами проведена тахеометрическая съемка верхней бровки берегового уступа, подсчитан объем обрушенных пород за период с 2004 по 2009 г., с 2009 по 2011 г. В связи с аварией на Саяно-Шушенской ГЭС в последние годы водохранилище не наполняется до НПУ (540 м). При таких уровнях наблюдается затухание абразионных процессов на обвальном участке, что подтверждается нашими исследованиями. В целом, отступление берега на участке на участке Куйлуг-Хем за время эксплуатации водохранилища (32 года) составило около 20 м, при прогнозе «Ленгидропроекта» [8] – 13-25 м за 10 лет эксплуатации.

Первоначальное присутствие в зоне затопления песчаных массивов четвертичного возраста привело к современному эоловому переносу песков по ложу водохранилища. Эоловые процессы развиваются как вдоль аккумулятивных, так и вдоль

абразионных берегов при периодическом осушении подводного берегового склона и играют немаловажную роль в рельефообразовании ложа и береговой зоны водохранилища (рис. 7).

Геоморфологические условия, а именно присутствие в пределах затопляемой территории пологих пойменных участков, способствовали развитию процессов заболачивания при наполнении водоема, что в свою очередь привело к трансформации растительных сообществ. На этих же пологих участках в прибрежной полосе формируются площади засоления грунтов. Полученные в ходе полевого картирования данные позволили построить карту развития современных экзогенно-геологических процессов района Шагонарского плеса, которая легла в основу схемы зонирования (рис. 5) водоема и прилегающей территории по характеру, степени и пространственной направленности природно-техногенных процессов [3]. Выделены три зоны влияния.

Первая зона – прямого влияния водохранилища. Ее площадь составляет 262 км² и падает с площадью акватории водоема при наполнении до НПУ. Выделяются период наполнения и период сработки водоема. **Вторая зона** – существенного влияния,



Рис. 7. Песчаные наносы вдоль береговой линии

проявляющегося в пределах береговой полосы, непосредственно примыкающей к площади затопления. Ширина зоны составляет 1-2 км в зависимости от геоморфологических условий. В пределах второй зоны отмечаются такие ландшафтные изменения, как возникновение абразии, заболачивание пойм, вторичное засоление грунтов, активизация выветривания коренных пород, эоловый перенос и аккумуляция. На пологих пойменных участках происходит значительная трансформация растительного покрова со сдвигом видового состава в сторону увеличения гидрофильных видов, изменение почвенного покрова с увеличением площади гидроморфных почв.

В третьей зоне косвенного влияния Шагонарского плеса (ширина зоны колеблется в пределах 5 км) наиболее значимым процессом, возникшим в результате создания водоема, является аккумуляция пылеватых частиц, переносимых с открытого ложа водоема пыльными бурями в весенний период. В этой же зоне проявляются незначительные климатические изменения, которые выражаются в виде изменения ветрового режима, уменьшения засухи на посевных площадях [3].

Выводы

Саяно-Шушенское водохранилище – крупный народно-хозяйственный объект. Его создание привело к изменению природной обстановки в пределах зоны затопления и на прилегающей площади. Процесс стабилизации экосистем водохранилища далек от завершения. Выполненная на основе ГИС работа по изучению района Шагонарского плеса Саяно-Шушенского водохранилища позволила сделать выводы о степени и направленности его влияния на компоненты природной среды. Создана единая информационная среда, обеспечивающая доступ к разнородным и разномасштабным гидрохимическим, топографическим, ландшафтным и тематическим данным и их обработку с учетом реализации задачи оценки динамики водного объекта.

Ключевые слова: Саяно-Шушенское водохранилище, Шагонарский плес, особенности функционирования, геоинформационные системы, геопространственные данные, геоинформационный анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блиновская Я.Ю. Геоинформационный подход в обеспечении экологической безопасности разработки нефти на шельфе / Я.Ю. Блиновская // Геоинформатика. – 2006. – № 2. – С. 52-55.
2. Кальная О.И., Забелин В.И. Рельефообразование береговой зоны озеровидной части Саяно-Шушенского водохранилища // География и природные ресурсы. – 2008. – № 3. – С. 79-85.
3. Кальная О.И. Геоэкологические условия и особенности функционирования Шагонарского плеса Саяно-Шушенского водохранилища : дис. канд. геогр. наук. – Барнаул, 2013. – 173 с.
4. Кузнецова Т.И., Бардаш А.В. Создание обзорной геоинформационной системы природной среды Байкальского региона геосистемного геоэкологического содержания // Геоинформатика. – 2014. – № 1. – С. 16-23.
5. Кусковский В.С. Экологические изменения геологической среды под влиянием крупных водохранилищ Сибири / В.С. Кусковский, Г.И. Овчинников, С.Х. Павлов, Ю.Б. Тржцинский, Е.С. Орехова, Е.А. Козырева // Сибирский экологический журнал. – 2000. – № 2. – С. 135-148. (1).
6. Кусковский В.С. Формирование берегов Саяно-Шушенского водохранилища при его эксплуатации (1990-2001 гг.) // География и природные ресурсы. – 2003. – № 4. – С. 65-72.
7. Отчет Гидрогеологической партии ТГРЭ по работам за 1991-1995 гг. Комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:200 000 листа М-64-III (Шагонар) / отв. исп. А.Г. Угрюмов. – Кызыл : ТТГФ, 1996. – 230 с.
8. Отчет акционерного общества «Ленгидропроект» РАО ЕЭС России. Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисей. Оценка воздействия Саяно-Шушенского гидроэнергокомплекса на окружающую среду. – СПб., 1994. – 420 с.
9. Перечень предельно-допустимых концентраций и ориентировочно-безопасных уровней воздействия вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. – М. : Мединор, 1995. – 220 с.
10. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод». – М., 2000. – 13 с.