

Эколого-гидрогеологические особенности водохранилищ енисейского каскада ГЭС

В. С. КУСКОВСКИЙ

*Институт водных и экологических проблем СО РАН
630090 Новосибирск, Морской просп. 2*

АННОТАЦИЯ

В 70–80-х гг. текущего столетия на р. Енисее создан каскад водохранилищ ГЭС, состоящий из Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ и их нижних бьефов. В результате в их береговых зонах произошли значительные изменения гидрогеологических условий. Так, в Красноярском водохранилище при амплитуде колебания уровня 16–18 м подпор подземных вод распространился на 2,5–5,0 км от уреза. Отклонения прогнозных и фактических уровней подземных вод составляют от 15 см до 30 м при максимальном подъеме уровней в р. Енисей на 100 м. Вскрыты причины невысокой точности прогнозных расчетов. Приведены данные об изменении химического состава подземных вод. Выявлена роль подземных вод в возникновении и развитии экзогенных геологических процессов – оползней, провалов, суффозии и разрушении аккумулятивных отелей. Предложено проводить границы водоохраных зон для водохранилищ по линии выклинивания сформировавшегося подпора подземных вод (крутые берега) и переменного подпора (пологие берега). Для сельскохозяйственного использования земель предлагается также снизить отметки НПУ для Красноярского водохранилища на 6 м (1-й вариант) или 4 м (2-й вариант).

Конференция ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро в 1992 г. поставила проблему обеспечения "чистой водой" человечества на одно из первых мест. Но до сих пор есть мнение, "что человек еще не осознал своего негативного воздействия на геологическую среду, так как экологическая ситуация подземных вод в целом ухудшается с каждым годом" [1]. Гидрогеология как научная дисциплина уделяет значительное внимание проблеме качества подземных питьевых вод и природных вод в целом [2–6].

Ресурсы подземных вод (подземной гидросферы), как считают многие, являются одним из основных источников существования и развития биосферы, которая пока не превратилась в ноосферу [1, 7]. Тем не менее "ноосфера (сфера разума), в которой доминирующую роль играют человек и его научная мощь, контролирует воздействие на природу. На пороге XXI в. имеются примеры такого регулирования подземной гидросферы" [1]. К ним относится искусственное пополнение ресурсов подзем-

ных вод в береговой зоне крупных водохранилищ за счет подпора и открытой фильтрации поверхностных вод в водоносные горизонты. В 70–80-х гг. текущего столетия на крупнейшей реке Земли Енисее создан каскад огромных водохранилищ ГЭС, в который входит Красноярское и Саяно-Шушенское водохранилища и их нижние бьефы. Краткая характеристика этих водоемов дана в статье этого журнала "Геоэкология береговых зон глубоководных водохранилищ Алтае-Саянской области", а также в ранее опубликованных работах [8–10].

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Одним из наиболее значительных аспектов изменения геологической среды при создании искусственных водоемов является подпор подземных вод, изучение которого создает возможность сопоставления с существующими те-

оретическими разработками динамики подпора. Формирование подпора подземных вод и его прогнозирование для глубоководных водохранилищ Алтае-Саянской области (АСО) со значительной сработкой, достигающей 50 м, и крайне непостоянным уровнем имеет ряд особенностей, не присущих равнинным водохранилищам. Необходимая для прогнозирования схематизация гидрогеологических условий в данном случае является сложной задачей. При заполнении водохранилищ низовая граница водоносных горизонтов становится более извилистой, так как низкие террасы затапливаются и урез водохранилища проходит по делювиальным склонам или по уступам высоких надпойменных террас. По притокам и лощинам создаются заливы, заходящие в глубь берега на тысячи метров. Это обстоятельство создает сложные условия на границах пластов. Величины водопродимости имеют значительные колебания как вдоль створов, так и по вертикали. В связи с этим при схематизации неизбежен ряд допущений. Наиболее полные данные по подпору подземных вод получены по водохранилищу Красноярской ГЭС [9, 10]. Оно расположено в северной части Минусинского межгорного артезианского бассейна, входящего в состав Алтае-Саянской гидрогеологической складчатой области. Акватория и зона подпора приурочены частично к артезианским бассейнам второго порядка (Чебаково-Балахтинскому, Сыдо-Ербинскому и Южно-Минусинскому), а также пересекают горно-складчатые бассейны Кузнецкого Алатау и Восточных Саян [11, 12].

Режимные наблюдения, проводимые Красноярской гидрогеологической экспедицией по гидрогеологическим профилям, специально заложенным мною совместно с ПГО "Красноярскгеология" на берегах Красноярского водохранилища в различных условиях, позволили установить величину подпора подземных вод, формирующегося при наполнении (1967–1970 гг.) и в годы эксплуатации водоема (рис. 1). Уровни подземных вод за весь период наблюдений поднялись от 8 до 68 м. Распространение подпора подземных вод наблюдается на расстоянии нескольких километров от уреза. При амплитуде

колебания уровня воды в водоеме 16–18 м подпор распространился в отложениях девона на 2,5–3,8, карбона – на 3,0–5,0 км.

Четко прослеживается взаимосвязь поверхностных и подземных вод, особенно на участ-



Рис. 1. Схема расположения участков наблюдений за переработкой берегов и развитием подпора подземных вод на Красноярском водохранилище.

Районы: А – нижняя часть водохранилища; Б – средняя часть водохранилища; В – верхняя часть водохранилища; Подрайоны: Б₁ – Чебаково-Балахтинский артезианский бассейн; Б₂ – бассейн трещинных вод Батеневского края; В₁ – Сыдо-Ербинский артезианский бассейн; В₂ – Южно-Минусинский артезианский бассейн.

Границы: сплошная кривая – районов; штриховая – подрайонов. Гидрогеологические створы: а – Приморский, б – Куртацкий-I, в – Куртацкий-II, г – Новоселовский, д – Сарагашский, е – Абакано-Перевозный, ж – Краснотуранский-I, з – Краснотуранский-II, и – Советско-Хакасский, к – Листвяговский.

Опорные участки наблюдений: I – Куртак, II – Новоселово, III – Даурское, IV – Усть-Сыда. Участки наблюдений (стационары III категории): 1 – Каменка, 2 – Жулгет, 3 – Черемушки, 4 – Приморск, 5 – Убей, 6 – Ижувль, 7 – Куртак, 8 – Трифоново, 9 – Оськин Ключ, 10 – Кома, 11 – Новоселово, 12 – Анаш, 13 – Беллык I, 14 – Беллык II, 15 – Усть-Сыда, 16 – Унюк, 17 – Совхакасия, 18 – Городок.

Т а б л и ц а 1
Коэффициенты уровнепроводности по Приморскому посту, м²/сут

Время, сут	Участки расчета			
	Скв. 5–скв. 1	Скв. 5–скв. 2	Скв. 5–скв. 3	Скв. 5–скв. 4
60	2875	–	1219	15351
90	2906	–	1188	1355
120	6000	5906	976	1104
150	2219	4906	–	–
	Скв. 1–скв. 2	Скв. 1–скв. 3	Скв. 1–скв. 4	Скв. 1–скв. 4
272	2078	141	203	–
444	2140	265	359	–
625	484	–	109	–
802	844	1546	1797	–
1035	1023	–	1784	453
1252	1158	–	1016	265
	Скв. 2–скв. 3	Скв. 2–скв. 4	Скв. 3–скв. 4	
1091	1391	2820	–	–
1248	484	484	484	–
1454	234	453	–	–
–	–	–	484	–

ках с повышенной водопроницаемостью. Запоздывание уровней подземных вод значительно больше при подъемах (105–110 сут), нежели при спадах (19–31 сут).

При фильтрации воды из водохранилища в его борта начали формироваться новые водонесные горизонты. Данные режимных наблюдений использовались для анализа подпора, исследований гидрогеологических параметров в береговой зоне и прогнозирования подпора [8]. Прогнозирование подпора подземных вод выполнено аналитическими методами с использованием результатов расчета гидрогеологических параметров – фильтрационного сопротивления ложа водохранилища и коэффициентов уровнепроводности, которые в пределах береговой зоны изменяются в значительных диапазонах. Для проведения трудоемких расчетов составлены программы для ЭВМ [8]. При составлении прогноза использовались материалы режимных наблюдений, главным образом отражающие динамику подземных вод при наполнении водохранилища. Между тем при его эксплуатации продолжается интенсивное развитие подпора подземных вод. При этом гидрогеологические параметры претерпевают изменения. В водоносный пласт, который подвергается подпору, попадают новые горизонты; кроме того, водонасыщение испытывают ранее относительно сухие слои трещиноватых скальных пород. При режимных наблюдениях мы получаем большее представление о фильтраци-

онных свойствах пласта. Появляется возможность уточнить параметр-коэффициент уровнепроводности "а". При водонасыщении сухих отложений попадают более трещиноватые прослой скальных пород. Когда на пути потока попадают более крупные трещины, то проводимость пород резко возрастает. Об этом свидетельствует скачкообразное увеличение "а" при подъеме уровня воды по ряду скважин некоторых створов. Так, по Сарагашскому створу, например, при наполнении водохранилища "а" увеличилась от 590 до 5766 м²/сут; значительно изменяются коэффициенты по другим створам (табл. 1). В целом этот коэффициент колеблется в пределах 300–34 000 м²/сут.

Гидрогеологическое параметр-фильтрационное сопротивление ложа водохранилища (ΔL_t) также постоянно изменяется. При наполнении водохранилища значение этого параметра сводилось к нулю. С первых лет эксплуатации водохранилища картина несколько изменилась. Вновь рассчитанные указанные параметры для различных участков водохранилища показали, что максимальное значение фильтрационного сопротивления ложа 755 м (Куртацкий створ). Это свидетельствует о заилинии и кольматации трещин скальных пород в прибрежной части при эксплуатации водохранилища. В самом деле, на многих участках (Куртак, Краснотуранск и др.) верхняя часть толщи представлена рыхлыми образованиями (су-

Т а б л и ц а 2

Результаты расчетов фильтрационного сопротивления ложа по Краснотуранскому посту Красноярского водохранилища

Время, сут	а, м ² /сут	\sqrt{at}		X	H	H	L _t
				м			
202	4656	–	–	4100	4,06	0	–
232	4656	–	0,4	4100	22,37	8,39	–
172	4676	899	0,395	375	20,05	9,8	335
178	4656	910	0,56	375	15,5	4,53	644
129	1281	406	0,8	150	5,62	0,9	110
124	1875	483	0,71	170	18,7	3,48	515
86	1141	313		919	11,24	–0,34	–

глинки, супеси, пески), достигающими в отдельных местах десятков метров (табл. 2).

Но указанный параметр неустойчив вследствие разрушения образовавшихся аккумулятивных отмелей при низких стояниях уровня воды в водохранилище, которые характерны для первых лет эксплуатации водоема.

В этих условиях наблюдается обратная картина – обнажение трещин скальных пород и, как следствие, уменьшение фильтрационного сопротивления ложа водохранилища. Сравнение прогнозных и фактических уровней, полученных в первые годы эксплуатации, показало, что по отдельным скважинам створов (Приморский, Сарагашский) имеются совпадения, а по другим наблюдаются значительные расхождения. Особенно большие расхождения наблюдались в период наполнения водохранилища – от 15 см до 30 м. При этом были отклонения как в сторону превышения отметок, так и в сторону занижения. По количеству те и другие отклонения примерно равны. В ряде случаев наблюдалось полное совпадение прогноза. Проведен статистический анализ по оценке прогнозных уровней подземных вод по нескольким створам. В целом анализ фактического материала наблюдений и его сравнение с прогнозами показывает пока невысокую оправданность прогнозных расчетов, выполненных аналитическими методами. Это объясняется несколькими причинами:

1. Заданные в расчете проектные экстремальные значения уровней воды в водохранилище фактически не осуществляются. Согласно проекту, уровень при отметке НПУ должен быть обеспечен в течение 2–3 мес в зависимости от водности года. Фактически в первые годы эксплуатации водохранилища (даже многоводные) уровень не достигал отметки НПУ. Так, в

1975 г., когда снегозапасы в бассейне составляли 147 % от нормы, уровень на 0,45 м не достиг НПУ, что связано с режимом эксплуатации ГЭС. В 1975 г. сработка достигла 19 м, что на 3 м больше проектной.

2. Естественные уровни подземных вод в ряде случаев определены путем интерполяции с некоторыми допущениями.

3. Пока не удается учесть полностью фильтрационные свойства скальных пород.

По химическому составу воды указанных водохранилищ ультрапресные, с минерализацией 0,1–0,2 г/л, гидрокарбонатные кальциевые. В естественном состоянии, до создания водохранилища и начала развития фильтрации и подпора подземных вод, химический состав их был разнообразен. Минерализация подземных вод – от ультрапресных до солоноватых (4 г/л). Это гидрокарбонатные кальциевые, натриевые и магниевые, а также хлоридные натриевые воды.

В естественных условиях подземные воды в этом районе зачастую непригодны для питьевых и других целей вследствие повышенной минерализации. После создания водоема закономерным является общее снижение минерализации. По ряду наблюдательных скважин подземные воды из солоноватых превращаются в пресные, а в отдельных случаях – в ультрапресные, пригодные для питьевых целей. При этом более всего снижается минерализация в прибрежной зоне, хотя есть несколько исключений.

На удаленных от береговой линии территориях, наоборот, с развитием подпора подземных вод минерализация их несколько повышается, особенно при максимальных значениях уровня подземных вод. Так, по скважине 3 Сарагашского створа за несколько лет минерализация повысилась с 1 до 1,5 г/л, по скважине

253 Абакано-Перевозного створа – с 0,9 до 2,0 г/л и т. д.

В целом, формирование подпора подземных вод на глубоководных водохранилищах Саяно-Алтайской области, берега которых сложены скальными породами, имеет свои особенности и зависит от ряда факторов. На каждом водохранилище развитие подпора имеет специфический характер. В то же время отмечаются некоторые общие закономерности формирования подпора, начиная с наполнения водохранилища и включая эксплуатационный период.

Из гидроморфологических показателей водохранилищ наибольшее влияние на развитие подпора подземных вод оказывают их глубины (до 250 м) и амплитуды изменения уровня в течение года (до 50 м). Большая сработка водохранилищ при установлении гидравлической связи с водоносными горизонтами обеспечивает режим, при котором уровни в течение года колеблются в значительных пределах. Для водохранилищ, находящихся в скальных породах, закономерность увеличения этих пределов при приближении к береговой линии не обязательна в силу специфики распространения трещинных вод и установления степени гидравлической связи их с водами созданного водоема. Особенно наглядно об этом свидетельствуют результаты наблюдений на Красноярском водохранилище.

Естественные условия существования подземных вод до создания водохранилища также определяют масштабы и характер распространения подпора. Там, где водохранилище располагается среди горных хребтов, уклоны зеркала подземных вод в естественном состоянии относительно большие и гидравлически не связаны с речными. Здесь основная разгрузка подземных вод, как показали исследования автора в Горном Алтае, проходит в русле рек в виде субаквальных источников и только около 10–12 % подземного стока выходит вне русла рек. С созданием водоемов эта закономерность в прибрежной зоне изменяется.

На тектонически ослабленных участках с открытыми трещинами или карстовыми пустотами открытая фильтрация поверхностных вод и распространение подпора подземных вод проходят на большие расстояния, достигающие десятков километров. По трещинам выветривания при очень крутых скальных берегах распространение подпора наблюдается не далее

глубины развития трещин (для Саяно-Алтайской области – 150–200 м).

При наполнении водохранилища и формировании подпора, как показали исследования на Красноярском водохранилище, в связи с вышеуказанными условиями в значительных диапазонах изменяются гидрогеологические параметры (коэффициент уводнепроводности и фильтрационное сопротивление ложа водохранилища), что является закономерным для водохранилищ горного и предгорного типов. При прогнозировании подпора необходимо использовать данные для аналогичных условий или близких к ним.

Выявленные закономерности изменения гидрогеологических условий применялись для прогнозирования на строящихся (Крапивинское) и запроектированных (Катунское) водохранилищах. Для прогнозирования изменений динамики уровней подземных вод в зонах влияния Крапивинского и Катунского водохранилищ использованы программы решения задач профильной неустановившейся фильтрации, которые разработаны в Институте гидродинамики СО РАН. В результате численного решения задачи в каждом узле разностей сетки определены значения уровня грунтовых вод, а также расходы из водоема (или в водоем) на любой заданный момент времени. В программе с помощью специальных признаков предусмотрена возможность решения на ЭВМ различных вариантов задач, основанных на ряде уравнений с граничными условиями 1, 2, 3 рода. Выполненные (совместно с С. Т. Рыбаковой) расчеты подпора грунтовых вод и подземного стока для четырех профилей Крапивинского водохранилища показали, что общий объем подземного притока составляет 1,5–2,0 км³/год, а ширина зоны распространения подпора – 0,3–2,5 км. Для Катунского водохранилища по специально заложенному Куяосскому створу гидрогеологических скважин эти величины составляют соответственно 0,2–0,4 км³/год и 0,5–1,5 км. Принципиальное значение имеет определение подземного химического выноса (один из элементов изменения гидрогеологических условий или геологической среды). Теоретические разработки С. Л. Шварцева и его учеников в системе вода–порода применительно к конкретным условиям Крапивинского и Катунского водохранилищ позволили оценить количественно подземный химический вынос.

Так, для Катунского водохранилища подземный химический вынос ртути составит не более 0,013 т/год.

РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОЗНИКНОВЕНИИ И РАЗВИТИИ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ (ЭГП)

В выяснении роли подземных вод в возникновении и развитии основных ЭГП на берегах водохранилищ АСО – оползней, провалов, суффозии и др. – мы опираемся, развивая их, на разработки Е. П. Емельяновой, Г. С. Золотарева, Г. К. Бондарика, И. О. Тихвинского, И. А. Печеркиного, В. М. Закоптелового, А. М. Хакимовой, А. Г. Лыкошиного, В. А. Мироненко, В. М. Шестакового, В. А. Калинина и др.

Подземные воды, резкое изменение гидрогеологических условий при наполнении водохранилищ, а затем и при их эксплуатации (наполнение–сработка) являются важнейшими факторами, определяющими устойчивость береговых склонов. Многолетний опыт и полученные результаты исследований подземных вод и ЭГП на Красноярском и Саянском водохранилищах позволяют оценить роль подземных вод в развитии указанных процессов, что, на наш взгляд, вносит существенное изменение в представления об этих процессах и в коррекцию их прогнозов, а в ряде случаев – создать специальные, не применявшиеся ранее нестандартные методологические подходы к прогнозированию. Изменение гидрогеологических условий в береговой зоне водохранилищ – открытая фильтрация поверхности вод по трещинам, крупным порам и пустотам в береговой массив и образование прямого и обратного потоков при значительной ежегодной сработке и наполнении водохранилищ, подпор подземных вод, изменение их качественного состава – приводит к резкому изменению инженерно-геологической обстановки, что влечет за собою возникновение ЭГП.

Для Красноярского и Саянского водохранилищ это, прежде всего, возникновение и развитие крупных оползней, провалов и формирование прибрежных отмелей. В ряде случаев переработка берегов на Красноярском водохранилище представляет собой очень сложный процесс, включающий оползание блоков скальных и рыхлых пород, вызванное смачиванием

подземными водами плоскостей скольжения, суффозию при 18-метровой сработке и образование мощного фильтрационного потока, значительно изменяющего профиль прибрежной отмели, разрушение коренного берегового склона, а также отмели за счет ветроволнового воздействия при различных стояниях уровней.

Изменение гидрогеологических условий, подпор подземных вод вызывают переформирование берегов в целом. На необходимость выявления значения подземных вод ранее указывали Е. Г. Качугин, Л. Б. Розовский и др. Проведенные за 1966–1993 гг. наблюдения и анализ результатов позволили выявить роль подземных вод в возникновении и развитии ЭГП:

1. При формировании подпора подземных вод при определенных условиях они играют главную роль в возникновении и развитии провалов.

2. При глубокой сработке водохранилищ и возникновении значительных прямых уклонов подземных вод (градиенты – десятые доли единицы) абразионно-аккумулятивные отмели избирательно разрушаются.

3. По этой же причине разрушаются контрфорсы древних оползней; кроме того, в скальных массивах при подпоре происходит взвешивание отдельных блоков, возникает гидродинамическое давление, способствующее оползанию массы пород.

Разрушение отмелей происходит благодаря устремляющимся в водохранилище мощным потокам подземных вод в виде воронок различных размеров. На Красноярском водохранилище диаметр воронок достигает 40–50 м при глубине в несколько метров. Крупные деформации отмелей – надежный критерий поисков месторождений пресных подземных вод в береговой зоне водохранилищ. Эти месторождения чаще всего приурочены к водообильным зонам скальных палеозойских пород, ослабленных тектонической трещиноватостью. Обследование береговых отмелей на водохранилищах необходимо производить при достижении максимальной сработки уровней. При этом возможно использование аэрофотоснимков, проведение аэровизуальных наблюдений или фиксации с борта теплохода. На Красноярском водохранилище с общей протяженностью береговой зоны около 1500 км по этой методике нами выделено

несколько крупных месторождений пресных подземных вод. Отдельные гидрогеологические скважины, пройденные на перспективных участках, дали высокие дебиты (села Куртак, Новоселово и др.).

Выявленные закономерности формирования рельефа абразионно-аккумулятивных отмелей дают ключ к управлению этим формированием. Дело в том, что воду из водохранилища можно сбрасывать не только в различных количествах в пределах призмы полезного объема, но и с различной интенсивностью. При быстрых сбросах воды в нижний бьеф образуются воронки и интенсивно разрушаются отмели. При медленной сработке уровней формирование этих отрицательных форм рельефа будет происходить менее интенсивно.

Все провалы в течение наполнения и дальнейшей эксплуатации Красноярского водохранилища обязаны своим происхождением резкому повышению уровней подземных вод, приводящему к внутренней суффозии тонкозернистых песков и супесей (Трифоново, Кулог, Бирюсинская заимка), потере устойчивости блоков в закарстованных массивах (Бирюса). Прогнозирование провалов сводится к прогнозированию подпора подземных вод, которое в некоторых случаях можно провести методом прямой срезки, так как провалы образуются близко от уреза водохранилища.

Следует подчеркнуть, что на берегах водохранилищ наблюдается и обратная связь – влияние ЭГП на формирование месторождений подземных вод. Так, при переработке берегов и образовании абразионно-аккумулятивных и аккумулятивных отмелей гидрогеологический параметр – фильтрационное сопротивление ложа водохранилища со временем увеличивается. Темпы его роста зависят от размеров отмели и литологического ее состава.

Чтобы берега водохранилищ обрушались с такой интенсивностью и объемами, как это имело место у с. Куртак (Красноярское водохранилище), необходимы следующие условия:

а) наличие толщи тонкозернистых песков и супесей в береговом массиве;

б) кровля скальных пород, на которой залегают пески и супеси, должна круто падать к водохранилищу; скальные породы – иметь относительно повышенную трещиноватость;

в) уровненный режим водохранилища при формировании подпора подземных вод должен обеспечивать подмачивание указанных выше грунтов и создавать при прямых уклонах зеркала значительные градиенты, достигающие десятых долей единицы.

Чтобы происходили оползни-сдвиги в скальных береговых массивах также необходимо сочетание условий:

а) наличие крутопадающих к водохранилищу трещин с углом падения 35–70°;

б) режим водохранилища, обеспечивающий подрезку склона, а также возникновение гидростатического и гидродинамического давлений, возникающих при значительных градиентах;

в) наличие относительно повышенной трещиноватости скальных пород (открытые трещины), обеспечивающей при наполнении водоема открытую фильтрацию, подпор подземных вод и создание потоков с прямыми и обратными уклонами.

Таким образом, оба процесса, несмотря на различную природу, имеют одну общую особенность: их возникновение, развитие, интенсивное протекание обязаны резким изменениям гидрогеологических условий в береговой зоне водохранилищ. Теоретически мы можем управлять этими процессами через уровненный режим водохранилища.

В пределах АСО наблюдаются острова многолетнемерзлых пород, поэтому трещины в береговых массивах иногда заполнены льдом или мерзлым рыхлым материалом. Фильтрация поверхностных вод и подпор подземных оказывают отепляющее влияние на массив, что еще раз указывает на необходимость изучения гидрогеологических условий при инженерно-геологических исследованиях берегов водохранилищ Сибири.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ БЕРЕГОВЫХ ЗОН ГЛУБОКОВОДНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ АСО

Изучение экзогенных геологических процессов и подпора подземных вод в береговых склонах, устойчивости берегов при наполнении и эксплуатации искусственных водоемов имеет большое значение не только для решения неотложных практических задач, но и для разработки мероприятий по охране геологической

среды. Изменение геологической среды при создании глубоководных водохранилищ, к которым относятся почти все искусственные водоемы АСО, как было показано выше, сказывается прежде всего на возникновении и развитии крупных оползней, провалов, суффозии, ветроволновой переработки берегов, интенсивного оврагообразования, подпора подземных вод.

Очень важным вопросом является отбивка границ водоохранной зоны как для эксплуатируемых, так и для проектируемых водохранилищ. Сейчас пока нет утвержденных научно обоснованных методических указаний или рекомендаций по проведению границ. В 1980 г. нами было предложено для водохранилищ горного и предгорного типов (крутые скальные берега), какими являются большинство созданных водохранилищ, проводить границу водоохранной зоны по линии выклинивания установившегося подпора подземных вод. Именно в пределах зоны подпора подземных вод происходят наибольшие изменения в берегах водоемов, и негативный оттенок этих изменений значительно увеличивается при непродуманном вмешательстве человека. Для пологих берегов предлагается проводить границы водоохранной зоны по линии выклинивания призмы переменного подпора подземных вод (рис. 2).

С позиций охраны геологической среды, рационального ее использования НПУ для Красноярского и Саянского водохранилищ являются несколько завышенными. Для Красноярского водохранилища НПУ необходимо было бы довести (выклинивание) до устья р. Тубы, т. е. до северной окраины Минусинской котловины, а для Саяно-Шушенского водохранилища – до устья р. Беделиг, т. е. не затоплять часть Тувинской котловины.

Положительным аспектом воздействия водохранилищ на геологическую среду является то, что на их берегах ресурсы подземных вод значительно увеличиваются за счет открытой фильтрации поверхностных и подпора подземных вод. Однако при больших амплитудах сезонных и многолетних колебаний уровня водохранилища режим подземных вод в прибрежной зоне оказывается крайне нестабильным.

Следует отметить, что уже в первые годы эксплуатации Красноярского водохранилища в ряде населенных пунктов возникли проблемы

водоснабжения. Это характерно для населенных пунктов, которые перенесены неудачно, без предварительного рассмотрения вопросов их водоснабжения. Такие населенные пункты, как правило, расположены на высоких водораздельных отметках, где запасы подземных вод незначительны или они непригодны для водоснабжения вследствие повышенной минерализации. Однако закономерным является общее снижение минерализации после наполнения водохранилища.

Следует особо отметить, что в результате разрушения берегов и подтопления выходят из использования сельскохозяйственные угодья, создается угроза населенным пунктам. Красноярская ГЭС осуществляет холостые сбросы воды в нижний бьеф, обусловленные в основном снижением потребностей в энергии. При этом в верхней части водохранилища (у г. Абакана) существует защита от подтопления, вступающая в действие при утвержденной отметке НПУ водохранилища. На эксплуатацию и вос-

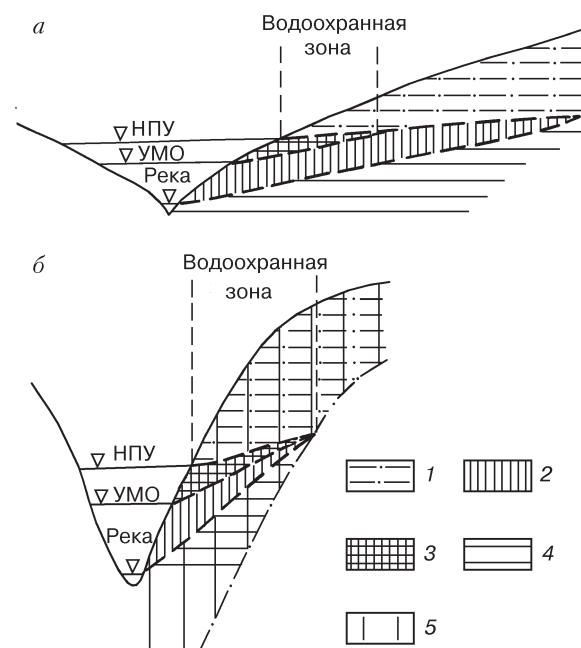


Рис. 2. Принципиальная схема проведения границ водоохранной зоны на берегах водохранилищ Сибири: а – относительно пологие берега с пластовыми подземными водами; б – крутые скальные берега с трещинными подземными водами; 1–5 – зоны: 1 – аэрации; 2 – сформировавшегося подпора подземных вод; 3 – переменного подпора подземных вод при ежегодной сработке и наполнении водоема; 4 – насыщения до наполнения водохранилища; 5 – трещиноватости скальных пород.

становление инженерной защиты г. Абакана тратятся немалые средства. В связи с определенным режимом работы защиты предлагается (автором) рассмотреть вопрос о возможности снижения отметки НПУ Красноярского водохранилища и консервации системы защиты г. Абакана и пос. Усть-Абакана. Это позволит также сохранить сельскохозяйственные земли и леса в верховьях водохранилища на ближайшие 10–15 лет. Так, в пределах республики Хакасия при снижении НПУ мы получим значительные площади незатапливаемых островов и относительно пологих склонов по заливам Туба и Сыда, а также на отдельных участках основной акватории и более мелких заливов, которые можно использовать для сельскохозяйственных целей, прежде всего как сенокосы; всего при варианте ПУ = 237 м – 27 317 га, а при варианте ПУ = 239 м – 21 142 га. В случае снижения отметки НПУ мы получим значительное сохранение продуктивных земель (пашни, сенокосы, пастбища и леса), попадающих при отм. 243 м в зону ветроволновой переработки и обрушения берегов за счет экзогенных геологических процессов, всего (при условии сохранения структуры земледелия) – 2038 га.

Охрана геологической среды на водохранилищах – это охрана как земных недр, так и поверхностных и подземных вод. Наибольшая ее

эффективность возможна в случае управления природными процессами, происходящими на берегах водохранилищ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Пиннекер, Экологические проблемы гидрогеологии, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1998.
2. Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1983.
3. Н. И. Плотников, А. А. Карцев, И.И. Рогинец, Научно-методологические основы экологической гидрогеологии, М., Изд-во МГУ, 1992.
4. M. Knight, *JAN*, 1996, 12, Nov., 2–4.
5. Гидрогеологические основы охраны подземных вод, М., Недра, 1984.
6. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения, М., Недра, 1985.
7. В. И. Вернадский, *Успехи биологии*, 1944, **18**: 2, 113–120.
8. В. С. Кусковский, Ю. И. Подлипский, В. М. Савкин, В. М. Широков, Формирование берегов Красноярского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.
9. В. С. Кусковский, в кн.: География Сибири в условиях научно-технического прогресса, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1975а, 25–35.
10. В. С. Кусковский, в кн.: Инженерно-географические проблемы при строительстве в Сибири, Л., Географ. об-во, 1975б, 144–169.
11. Гидрогеология СССР, т. VIII. Красноярский край и Тувинская АССР, М., Недра, 1972.
12. Н. И. Толстихин, в кн.: Материалы комиссии по изучению подземных вод Сибири и Дальнего Востока, Иркутск, 1962, II, 18–21.

Ecological-Hydrogeological Peculiarities of Reservoirs of the Yenisei Hydroelectric Power Stations Cascade

V. S. KUSKOVSKY

In the 70ies–80ies of the current century, a cascade of hydroelectric power stations consisting of the Krasnoyarsk and Sayano-Shushenskoye reservoirs and their tail-waters was set up. As a result, considerable changes of hydrological conditions took place in their coastal zones. So, in the Krasnoyarsk reservoir, at an amplitude of variation of 16–18 m, the upthrust of subterranean waters spread by 2.5–5.0 km from the shoreline. Discrepancies between the forecast and actual levels of subterranean waters are 15 cm to 30 m at the maximal rise of levels in the Yenisei river by 100 m. The causes of the poor accuracy of forecast calculations are detected. Data on changes of chemical composition of subterranean waters are presented. The role of subterranean waters in origin and development of exogenous geological processes – landfalls, landslides, suffusions and destruction of accumulative shallows – is elucidated. It is proposed to draw the borders of water-protecting zones for reservoirs along the line of thinning of the formed upthrust of subterranean waters (steep shores) and intermittent upthrust (smooth shores). For agricultural use of lands, it is proposed also to lower the normal upthrust, level marks for the Krasnoyarsk reservoir at the 6th (variant 1) or the 4th (variant 2) one.