

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*

*Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3*

**Институт земной коры СО РАН
664033 Иркутск, ул. Лермонтова, 128*

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследований изменения геологической среды под влиянием крупных искусственных водоемов, созданных в Сибири (прежде всего на р. Ангаре) для выработки электроэнергии. Изучение экзогенных геологических процессов, режима подземных вод в течение 25–40 лет на специальных стационарах, расположенных на побережьях водохранилищ, позволило выполнить оценку количественных и качественных изменений геологической среды под влиянием этих водохранилищ. При эксплуатации водохранилищ в результате годовых и многолетних колебаний их уровней происходит постоянное переформирование напорных подземных вод, приводящее к высокой динамичности гидрогеохимических границ в зоне подпора, что ухудшает геоэкологическую ситуацию на большой территории.

Наличие льдистых многолетнемерзлых пород и большая амплитуда сработки Вилюйского и Зейского водохранилищ (до 15 м) создают наряду с абразией благоприятные условия для широкого развития в береговой зоне процессов солифлюкции и термокарста.

Среди экзогенных геологических процессов на ангарских водохранилищах наибольшее развитие как по интенсивности, так и по масштабам получили абразионные процессы. Ими охвачена береговая линия на протяжении около 3000 км, что составляет 36 % от их общей длины. Общая площадь потерянных земель только за счет размыва составила 5500 га. Максимальная ширина размыва достигает 200 м и приурочена к берегам, формирование которых идет в суглинистых отложениях.

Широкое развитие получили эоловые процессы, развивающиеся в береговой зоне на осушенных отмелях, на которых их углубление за счет денудации составляет от 5–7 см до 1,0 м. Результаты исследований показывают, что от 30 до 60 % эоловых наносов выносятся с осушенной отмели за ее пределы.

За счет активно развивающихся оползней в смещении на береговых склонах втянуты огромные массы грунтов (миллионы кубических метров). Активизация этих оползней угрожает ценным земельным угодьям, в первую очередь водоохраным лесным зонам.

Наряду с характеристикой геоэкологического состояния берегов водохранилищ ангарского каскада, а также Вилюйского и Зейского водохранилищ авторами выполнен фоновый прогноз их дальнейшего развития.

Среди главнейших задач, связанных с проблемами рационального использования геологической среды (ГС), значительное место занимает изучение современных геологических процессов, закономерностей их возникновения, развития и изменения в пространстве и времени. Эти факторы определяют сложность освоения отдельных территорий. С другой стороны, ГС, являясь элементом развития определенной природной системы с геологически сложившимися динамическими постоянством и равновесием, очень чутко реагирует на всевозможное

техногенное вмешательство, ибо деятельность человека в настоящее время становится серьезным геологическим фактором, вносящим существенные коррективы в естественную природную обстановку и приводящим к серьезным геоэкологическим последствиям. Эффект влияния человека на земную поверхность состоит, в частности, в изменении рельефа, т. е. происходит его нивелирование, изменяется степень расчлененности, создаются новые антропогенные положительные или отрицательные формы, в том числе и огромные искусственные во-

доемы, которые представляют собой тип природно-технических систем, развивающийся в катастрофически быстрых темпах. Зоны влияния крупных водохранилищ Сибири охватывают территории в сотни тысяч квадратных километров. Общая характеристика водоемов приведена в табл. 1.

Существующие техногенные водоемы и их геологическая деятельность по сути – грандиозный естественный геодинамический полигон, в пределах которого можно не только увидеть, но и изучить весь ход изменения ГС, искусственно созданного человеком геологического неравновесия. И если пока о существенных изменениях геологической основы, т. е. самих пород, говорить еще рано, ибо с позиций геологического развития время существования водохранилищ ничтожно мало, то изменения в гидрогеологических и геодинамических особенностях береговых зон хорошо прослежены (рис. 1).

Серьезные экологические последствия вызвало изменение гидрогеологических условий, связанных с формированием зоны подпора подземных вод с максимальной высотой, изменяющейся от 40 до 100 м. Обводнение пород бывшей зоны аэрации привело к возникновению новых и увеличению мощности существовавших водоносных горизонтов. Несмотря на значительную высоту подъема уровня подземных вод, такое отрицательное явление, как подтопление территорий, весьма ограничено для побережий большинства водохранилищ, за исключением Новосибирского. Это обусловлено особенностями геолого-геоморфологического строения долин рек. В единичных населенных пунктах, расположенных в зоне переменного подпора, подтопление слабо проявляется на весьма ограниченных площадях лишь в период положения уровня водохранилища, близкого к НПУ. Подтапливаемые участки, приводящие к деградации лесов, лугов, выгонов и

других земельных угодий, отмечаются на ограниченных площадях, на низких пологих склонах и в заливах на границе выклинивания подпора. Проявления эффекта подтопления могут быть различны: от заболачивания до засоления почв. Последнее имеет место на очень ограниченной части побережья Братского водохранилища в зоне с недостаточным увлажнением. Среди подтапливаемых территорий наибольшая площадь приходится на леса на побережьях Усть-Илимского, Саяно-Шушенского и в меньшей степени на нижнем участке Братского водохранилищ, где пологие низкие берега сложены песками.

В процессе формирования подпора происходило обводнение интенсивно трещиноватых пород и аллювиальных отложений террас высокого комплекса, которые имели высокие фильтрационные свойства. Поэтому в прибрежной полосе сформировались крупные месторождения пресных подземных вод инфильтрационного типа, тыс. м³/сут.: Иркутское – 149,7; Братское – 134,5; Прибрежное – 132,3 и др.

Трещиноватость пород в долине р. Ангары связана с разрывными нарушениями [1] и складчатыми структурами [2]. Она была усилена развитием трещин выветривания в бывшей зоне аэрации и карстом. Резкая неоднородность фильтрационных свойств трещинного и трещинно-карстового коллектора обусловила весьма высокую неравномерность обводненности пород. Коэффициент вариации удельного дебита скважин (Wg) в различных литолого-стратиграфических комплексах пород изменяется от 143 до 162 %.

Несмотря на высокую неравномерность обводненности пород, отчетливо прослеживается закономерность ее уменьшения с удалением от водохранилища. В карбонатных и сульфатно-карбонатных отложениях нижнего кембрия и нижнего ордовика повышенная водообильность пород прослеживается на удалении до 2 км от уреза. В песчанисто-глинистых отложениях

Т а б л и ц а 1
Характеристика крупнейших водохранилищ Сибири

Водохранилище	Площадь, км ²	Протяженность, км	Макс. ширина, км	Макс. глубина, м	Н сработки, м	Длина берегов, км
Иркутское	154	55	7	35	4,5	276
Братское	5470	570	25	150	10,0	6000
Усть-Илимское	1833	302	12	100	4,0	2500
Вилуйское	2170	470	15	70	8,0	2750
Зейское	2420	194	20	94	16,0	1810
Красноярское	2100	380	15	105	16,0	1560
Саяно-Шушенское	360	290	9	210	40,0	1250
Новосибирское	1070	230	22	25	5,0	599

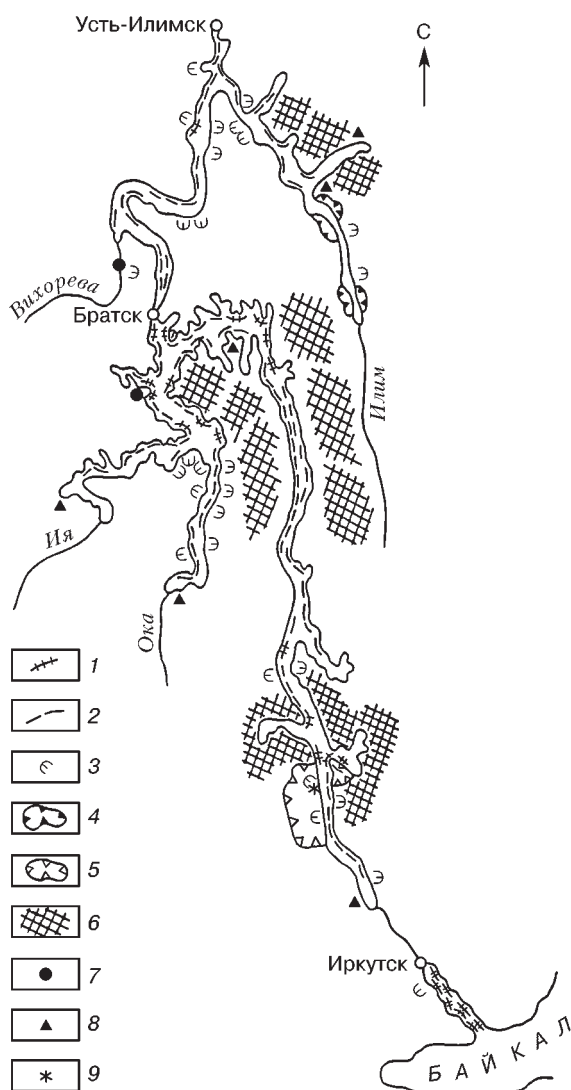


Рис. 1. Схема развития техногенных процессов на побережьях ангарских водохранилищ.

Размывы берега: 1 – шириной более 100 м, 2 – шириной менее 100 м, 3 – активизированные оползни, 4 – активизация карбонатного карста, 5 – активизация гипсового карста, 6 – площади активизации линейной эрозии, 7 – свежие суффозионные воронки, 8 – участки подтопления, 9 – участки засоления грунтов.

верхнего кембрия, ордовика и юры влияние водохранилища на водообильность пород не превышает 1 км. Средние значения величин удельного дебита скважин в карстующихся породах при удалении от водохранилищ изменяются от 25 до 5 л/с, а максимально возможные достигают 100 л/с. В песчанисто-глинистых отложениях соответствующие значения величин удельного дебита скважин изменяются от 4 до 1 л/с и менее и не превышают 10 л/с.

Снижение водообильности пород происходит не только при удалении от водохранилища, но и по разрезу ниже его ложа. Эта закономер-

ность является весьма устойчивой. Результаты поинтервального опробования гидрогеологических скважин и поинтервального нагнетания в скважины показывают, что зона высокой проницаемости ограничивается на глубине 30–40 м ниже ложа водохранилищ. Стабилизация уровня подземных вод в первые минуты от начала проведения опытно-фильтрационных работ указывает на наличие их взаимосвязи с поверхностными водами. При опробовании скважин с производительностью до 10 л/с установившийся режим фильтрации наблюдается с первых минут откачки. При проведении опытных работ с производительностью 100–150 л/с время неустановившегося движения изменяется от 10–30 мин до нескольких часов. Наиболее полное представление о взаимосвязи подземных и поверхностных вод в зоне подпора дает анализ их уровня режима. В эксплуатационный период уровень подземных вод в зоне подпора с различной степенью запаздывания повторяет изменения уровней водохранилищ. Величина запаздывания изменяется в песчаниках от менее 1 сут в 0,5 км от уреза до 8 сут на удалении 1,5 км, а в глинисто-мергелистых породах в полосе шириной менее 0,5 км она достигает 39 сут. В карбонатных и сульфатно-карбонатных породах на расстоянии до 1 км от уреза величина запаздывания не превышает 2 сут.

Анализ уровня режима поверхностных и подземных вод, кроме определения тесноты их взаимосвязи, позволил выявить ее направление. До возникновения водоемов на берегах р. Ангары были широко распространены депрессии в уровне подземных вод. Анализ многочисленных гипотез формирования депрессионных форм и обобщение материалов с выводами, объясняющими их природу, проведены в ранее выполненной работе [3]. Происхождение депрессий связано с широко распространенными в бассейне р. Ангары разрывными нарушениями северо-восточного и северо-западного простираний [1] и рвами отседания, заполненными тонкодисперсным материалом и протягивающимися вдоль берегов в несколько рядов на расстоянии нескольких километров [4, 5]. В результате на значительной части побережья ангарских водохранилищ взаимосвязь подземных и поверхностных вод осуществляется не по нормали к урезу, а под углом к нему, в местах, где зона высокой проницаемости уходит под урез водохранилища.

До создания водохранилищ основным фактором формирования химического состава подземных вод в зоне интенсивного водообмена являлся вещественный состав водовмещающих пород. В песчано-глинистых и карбонатных отложениях были распространены пресные гидрокарбонатные щелочноземельные воды, а в гипсах и загипсованных породах повсеместно развиты слабосоленоватые воды сульфатного кальциевого состава. Эта общая гидрогеологическая ситуация по мере приближения к реке сильно осложнялась под влиянием разгрузки артезианских вод. На значительном протяжении наиболее глубоко врезанной части будущего ложа ангарских водохранилищ существовали необходимые условия для восходящего движения артезианских вод – гидрогеологические, гидрогеодинамические и тектонические. Сочетание этих условий определяло основной вид разгрузки подземных вод глубоких водоносных горизонтов: очаговый – в локальных структурах; линейный – по зонам разрывных нарушений; дисперсионно-конвективный – при фильтрации через относительно слабопроницаемые слои. Оценка гидрогеодинамической и гидрогеохимической ситуации, существующей в прибрежной зоне рассматриваемой территории, свидетельствует о широком развитии восходящего потока артезианских вод с напором, часто превышающим уровень воды в реках Ангаре, Белой, Осе, Унге, Оке, Илиме и других и образующим купольные гидрогеодинамические [6] и гидрогеохимические [7] структуры.

Формирование подпора в процессе наполнения водохранилищ сопровождалось продвижением пресных инфильтрационных вод в глубь склонов. Учитывая это обстоятельство, а также то, что в период эксплуатации водохранилищ водообмен между подземными и поверхностными водами усилится, для территории, наиболее освоенной в хозяйственном отношении, был дан благоприятный прогноз существенного улучшения качества подземных вод в зоне подпора, включая и площадь распространения гипсоносных отложений [5]. В действительности увеличение зоны насыщения в процессе наполнения водохранилищ не сопровождалось повсеместным и пропорциональным ростом мощности пресных вод. Эквивалентное подпору приращение мощности зоны пресных вод произошло там, где влияние гидрогеохимического купола не проявляется, а водовмещающие породы не содержат водорастворимых солей (рис. 2, *a*). В гипсах и сильно загипсован-

ных отложениях пресные воды отсутствуют, либо имеют минимальную мощность, соответствующую мощности подземных вод, распространенных в породах, не содержащих гипса (рис. 2, *д*).

Минерализация сульфатных кальциевых вод, распространенных в гипсоносных отложениях на расстоянии первых десятков метров от уреза, изменяется от 1,8 до 2,6 г/л. Это связано с быстрой растворимостью гипсов высокоагрессивными инфильтрационными водами и хорошо подтверждается результатами экспериментов по их выщелачиванию. Длина пути насыщения воды сульфатом кальция при ламинарном движении с малыми скоростями составляет всего лишь несколько десятков сантиметров, при больших скоростях она увеличивается до десятков метров [8].

На площади проявления гидрогеохимического купола мощность зоны пресных вод, их состав и характер изменения минерализации с глубиной могут быть весьма разнообразными (рис. 2, *б, в, г*). Однако в отличие от кривых *a* и *д* на рис. 2, которые относительно стабильны, кривые *б, в* и *г*, показывающие характер изменения минерализации подземных вод с глубиной на площади проявления гидрогеохимиче-

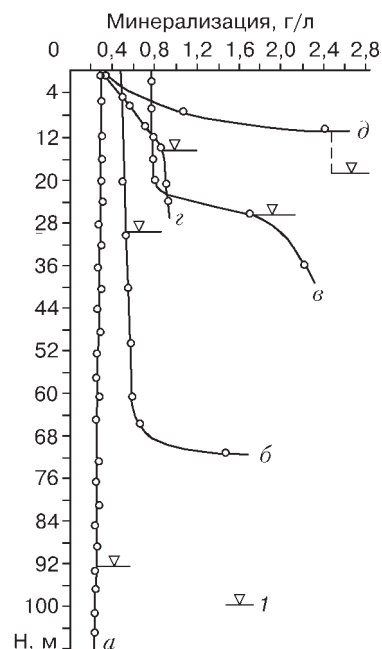


Рис. 2. Характер изменения минерализации подземных вод с глубиной (в песчаниках нижнего (*a*) и верхнего (*б*) кембрия). В песчаниках: *a* – нижнего ордовика, *в* – верхнего кембрия. В карбонатных отложениях нижнего кембрия: *б, г*. В сульфатно-карбонатных отложениях нижнего кембрия: *д*. *1* – мощность зоны подпора в момент опробования.

ского купола, отражают ситуацию, свойственную лишь определенному моменту времени. Это связано с тем, что с наполнением водохранилища происходило повышение гипсометрических отметок проявлений разгрузки подземных вод глубоких водоносных горизонтов.

В зависимости от сочетания условий, обеспечивающих основной вид разгрузки глубоких артезианских вод, по-разному происходил подъем гидрогеохимического купола. Наиболее масштабно и ярко этот процесс проявился на верхнем участке Братского водохранилища и в приплотинной части Иркутской ГЭС [7, 9]. На территории, прилегающей к устьевым частям рек Осы и Унги, где отмечалась наиболее обширная по площади, интенсивная по производительности и высокая по минерализации разгрузка соленых хлоридных натриевых вод, гидрогеохимический купол поднялся до отметок, соответствующих НПУ.

В период эксплуатации водохранилищ в результате годовых и многолетних колебаний его уровня происходит постоянное переформирование напоров. Поэтому на площади проявления гидрогеохимического купола гидрогеохимические границы отличаются очень высокой динамичностью. В зависимости от высоты, а главное – от направления (подъем–спад) изменения уровня водохранилища кривые *б*, *в* и *г* на рис. 2 могут изменяться от положения, сходного с кривой *а*, до положения, близкого к кривой *д*. В период подъема уровня даже при низком его положении граница раздела пресных и солоноватых вод опускается ниже ложа водоема. При сработке водохранилища гидрогеохимическая граница поднимается к поверхности тем интенсивнее, чем ниже опускается его уровень, и происходит разрушение зоны пресных вод.

Высокая динамичность гидрогеохимических границ в зоне подпора на огромной территории ухудшает геоэкологическую ситуацию. Изменение качества подземных вод от соответствующих требованиям, предъявляемым к водам хозяйственно-питьевого назначения, до некондиционного происходит не только на одиночных водозаборах, но и на крупных месторождениях пресных подземных вод инфильтрационного типа с разведанными запасами.

Формирование зоны подпора и различные изменения в ней в период эксплуатации водохранилищ сопровождаются резкой активизацией карстовых процессов на Братском и Усть-Илимском водохранилищах. В. М. Филипповым [10] было показано, что активиза-

ция различных проявлений карста в зоне подпора имеет унаследованный характер. Выявленная им закономерность интенсивной активизации карстовых деформаций на расстоянии до 1–2 км от уреза водохранилища хорошо коррелируется с отмеченным выше проявлением высокой водообильности карстующихся пород на таком же удалении от берега.

В активизации карстовых процессов в этом случае основную роль играет высокий энергетический потенциал подземных вод зоны подпора. Он реализуется в фильтрационном потоке, распространяющемся по зонам высокой проницаемости, протягивающимся субпараллельно береговой линии и разделенным между собой рвами отседания, заполненными слабопроницаемым тонкодисперсным материалом. Величина коэффициента фильтрации в таких зонах изменяется от первых сотен до 1000 м/сут и более.

Чередование зон с высокой и низкой проницаемостью, а также резкая неоднородность фильтрационных свойств пород в пределах одного карстового блока приводит к тому, что в отдельных крупных трещинах или их системах, служащих естественными каналами для карстовых вод, на участках изменения их проницаемости возможен местный перепад напоров, вызывающий отклонение от линейного закона фильтрации. Этот процесс наиболее активен в зоне переменного насыщения. В этих условиях, при изменении 2 раза в год направления движения подземных вод на противоположное, происходит интенсивный вынос заполнителя карстовых полостей, вызывающий активизацию унаследованного карста.

Наряду с активизацией карстовых проявлений унаследованного характера в зоне подпора активно протекают и коррозионные процессы. Роль современной коррозии в формировании карстовых форм в зоне влияния водохранилищ оценивалась В. М. Филипповым [10, 11]. В результате выполнения серии экспериментов по выщелачиванию, моделирующих различные гидродинамические зоны с разнообразными фильтрационными параметрами, им были определены скорости выщелачивания для основных литологических разностей карстующихся пород, развитых в регионе. Установлено, что для образования из волосной трещины полости шириной 1 м необходимо 12–40 лет в гипсах и от 15 до 53 тысяч лет в известняках и доломитах. Приведенные данные показывают, что за время существования Братского водохранилища (30 лет) в гипсах возможно формирова-

ние достаточно крупных карстовых полостей коррозийного типа, способных проявиться на поверхности. На площади распространения гидрогеохимического купола, представленного солеными хлоридными натриевыми водами, агрессивность которых по отношению сульфатным породам значительно повышена, это время может быть заметно уменьшено [12].

Наряду с неблагоприятными последствиями для геоэкологической ситуации из-за подъема гидрогеохимического купола формирование подпора имеет и положительное влияние на качество подземных вод. Это связано с обогащением подземных вод зоны подпора растворенным кислородом до насыщенного и перенасыщенного состояний. Достаточно детально этот процесс изучен на Братском водохранилище [13]. Здесь выявлена четко выраженная горизонтальная и вертикальная зональность в распределении растворенного кислорода. Подземные воды, ненасыщенные кислородом, развиты в основном на участках выклинивания подпора, где гидрогеохимическая ситуация формируется преимущественно под влиянием подземных вод,двигающихся со стороны междуречий. По мере увеличения призмы подпора происходит закономерное повышение содержания кислорода в подземных водах до насыщенного и перенасыщенного состояний. При величине подпора 50 м и более, при прочих равных условиях, содержание кислорода в подземных водах определяется, главным образом, под влиянием вод водохранилища и изменяется от 15–18 до 29 мг/л.

Эта общая картина значительно осложняется в местах разгрузки глубоких артезианских вод и там, где в породах присутствуют различные восстановители – органическое вещество и металлы с переменной валентностью в низкой степени окисления. Достаточно широкое развитие железистых подземных вод,двигающихся со стороны междуречий, и высокое содержание кислорода в подземных водах зоны подпора обусловили высокую активность гидрогеохимических процессов. Наряду с обезжелезиванием подземных вод и улучшением их санитарного состояния растворенный кислород в определенных условиях выполняет роль индикатора взаимосвязи поверхностных и подземных вод.

Крупные водохранилища, созданные в северных районах, с огромными массами воды – в общем виде аккумуляторов тепла – привело к изменению мерзлотных условий и деградации многолетней мерзлоты, которая протекает довольно интенсивно. Так, на Вилюйском водо-

охранилище за 2 года мерзлые породы под дном водохранилища протаяли на 14 м. Возможен и противоположный процесс – промерзание на мелководьях аккумулятивных форм берега с формированием подземных льдов [14].

На Зейском водохранилище существенные геоэкологические проблемы создает колебание уровня водохранилища, определяемое величиной сработки в 16 м. При площади водного зеркала в 2420 км² в период наполнения водоема до НПУ территория зоны осушки составляет почти 800 км². С другой стороны, запроектированная резервная емкость водохранилища для задержания сильных дождевых паводков предусматривает повышение уровня в эти периоды еще на 6 м, что существенно активизирует абразионный процесс. Прогноз размыва берегов [15] показал, что в столетнюю стадию развития ширина размыва достигнет: на коренных породах – 90–140 м, на рыхлых образованиях – 150 м. Кроме того, при ежегодном повышении уровня с поверхности склонов будет смываться слой грунта мощностью до 1,5 м, включая и почвенно-дерновый покров. Наносы в основном будут перетлагаться на более низкие отметки поверхности подводного склона. Таким образом, вся зона осушки после нескольких лет эксплуатации водохранилища будет покрыта наносами, состав которых зависит от размываемых отложений. Мощность аккумулятивного слоя будет на 10–20 % меньше глубины размыва. В целом после 10 лет эксплуатации водохранилища с поверхности склонов в зоне осушки будет снесен слой мощностью от 0,4 до 2 м.

Зейское водохранилище, как и Вилюйское, расположено в зоне островного и сплошного распространения многолетнемерзлых пород. В мерзлом состоянии находятся как рыхлые отложения, так и скальные породы различного состава. Максимальная мощность мерзлой толщи от 40 до 70 м [16]. Скальные породы при оттаивании часто разрушаются до состояния дресвы. Наличие сильнольдистых многолетнемерзлых пород и большая амплитуда сработки уровня водохранилища создают наряду с абразией благоприятные условия и для развития в береговой зоне процессов солифлюкции и термокарста.

Создание водоемов ангарского (Иркутское, Братское, Усть-Илимское) и енисейского (Красноярское, Саяно-Шушенское) каскадов ГЭС способствовало активизации ведущих экзогенных геологических процессов (ЭГП), а также возникновению их техногенных аналогов, от-

личающихся значительной интенсивностью. Поскольку ЭГП являются наиболее чутким индикатором изменения ГС, на их характеристики мы остановимся более подробно.

Вновь созданные ангарские водохранилища оказали существенное влияние на ГС и серьезно осложнили экологическую обстановку, что, в свою очередь, привело к негативным, как правило, необратимым изменениям природной среды в целом. Образована новая береговая линия, в пределах которой начала развиваться абразия, изменились условия обмена поверхностных и подземных вод, активизировались карст, оползни, нарушился ход эрозионных процессов, произошло всплывание торфяных залежей и т. д. В соответствии с классификацией А. Б. Авакяна и др. [17], касающейся развития ЭГП на берегах, водохранилища Сибири отнесены к геодинамически неустойчивым, ибо техногенное развитие процессов здесь характеризуется чередованием стадий активизации и относительной стабилизации. Следует подчеркнуть, что все процессы, за исключением абразии, имеют унаследованный характер, определяемый взаимодействием естественных и техногенных условий и факторов, среди которых вновь созданные водоемы являются главными. С другой стороны, все эти процессы, включая и абразию, в настоящее время не только не затухают, но и увеличиваются как по размерам, так и по темпам развития. Существенное влияние на динамику процессов оказывают техногенные колебания уровней водоемов, особенно залповые сбросы воды [18]. Несоответствие проектных и фактических уровней водохранилищ обуславливает интенсивное протекание процессов и приводит к значительным потерям земель, которые на 1995 г. составляют более 6000 га (табл. 2).

На особенностях динамики береговой зоны ангарских водохранилищ, изучающейся на

протяжении последних 40 лет, остановимся более подробно. Среди ЭГП наибольшее развитие как по интенсивности, так и по масштабам получили абразионные процессы. Ими охвачена береговая линия на протяжении около 3000 км, что составляет около 36 % от их общей длины. Общая площадь потерянных земель только за счет размыва за период эксплуатации составила около 5500 га. Наибольшие размывы отмечаются на берегах Иркутского и Братского водохранилищ. Максимальная ширина размыва достигает 200 м и приурочена к берегам, формирование которых идет в суглинистых отложениях. Стабилизации абразионного процесса, как предполагалось ранее, не происходит. В зону размыва попали ряд поселков, сельскохозяйственные угодья, лесные массивы.

Поскольку абразия является основным процессом, приводящим к негативным геоэкологическим последствиям и оказывающим существенное воздействие на природную среду, кратко рассмотрим динамику береговой зоны по отдельным водохранилищам.

Иркутское водохранилище. Протяженность абразионных берегов на водохранилище по состоянию на 1995 г. составила 134 км, или 51 % от общей их протяженности. Максимальные размывы отмечались на берегах, формирующихся в лессовидных суглинках, за период 1962–1996 гг. их значения превысили 150 м. В юрских отложениях эта величина составила около 30 м (рис. 3). Большое влияние на интенсивность абразионных процессов оказывает положение уровня воды, которое оценивается амплитудой его колебаний, а также продолжительностью нахождения его в пределах отдельных интервалов всей ее зоны. При низких уровнях происходит "срезка" поверхности осушенных отмелей и, соответственно, ее углубление [19]. При повышении горизонта воды до отметки НПУ резко усиливается абразия бере-

Т а б л и ц а 2

Потери земель за счет развития ЭГП (водохранилища ангарского каскада ГЭС)

Водохранилища, участки	Потеряно земель (га) за счет			Всего
	абразии	карста	оползней	
Иркутское				
Приусадебные участки	42	–	–	42
Пашни	180	–	–	180
Леса	410	–	2	412
Братское				
Приусадебные участки	40	2	–	42
Пашни	500	540	2	1042
Леса	3800	–	19	3819
Усть-Илимское	500	1	28	529
			Итого	6066

говых склонов. Так, с 1983 по 1996 г. интенсивность размывов, по отношению к предыдущим годам эксплуатации водохранилища возросла. Скорость абразии на некоторых участках достигала 3–7 м в год. Если раньше размыву подвергались склоны крутизной до 4°, то в период 1992–1996 гг. стали размываться пологие склоны крутизной менее 2°.

Исследования показывают, что интенсивность абразионного процесса в суглинистых отложениях на водохранилище не снижается, а, наоборот, отмечается тенденция к увеличению интенсивности процесса. Это хорошо видно на графике динамики берега на участке Ново-Раз-

водная, где показана величина размыва за последние 27 лет эксплуатации этого водоема (рис. 4).

В последние годы формирование береговых уступов в лессовидных суглинках при достижении ими высоты более 4 м происходит в два этапа: первый – летне-осенний период, когда идет интенсивный размыв береговых склонов при высоком положении уровня воды. Береговые уступы к моменту появления ледового покрова приобретают вертикальный вид. Образуются волноприбойные ниши, и интенсивно идет насыщение грунта водой. За бровкой береговых уступов формируются трещины бортового от-

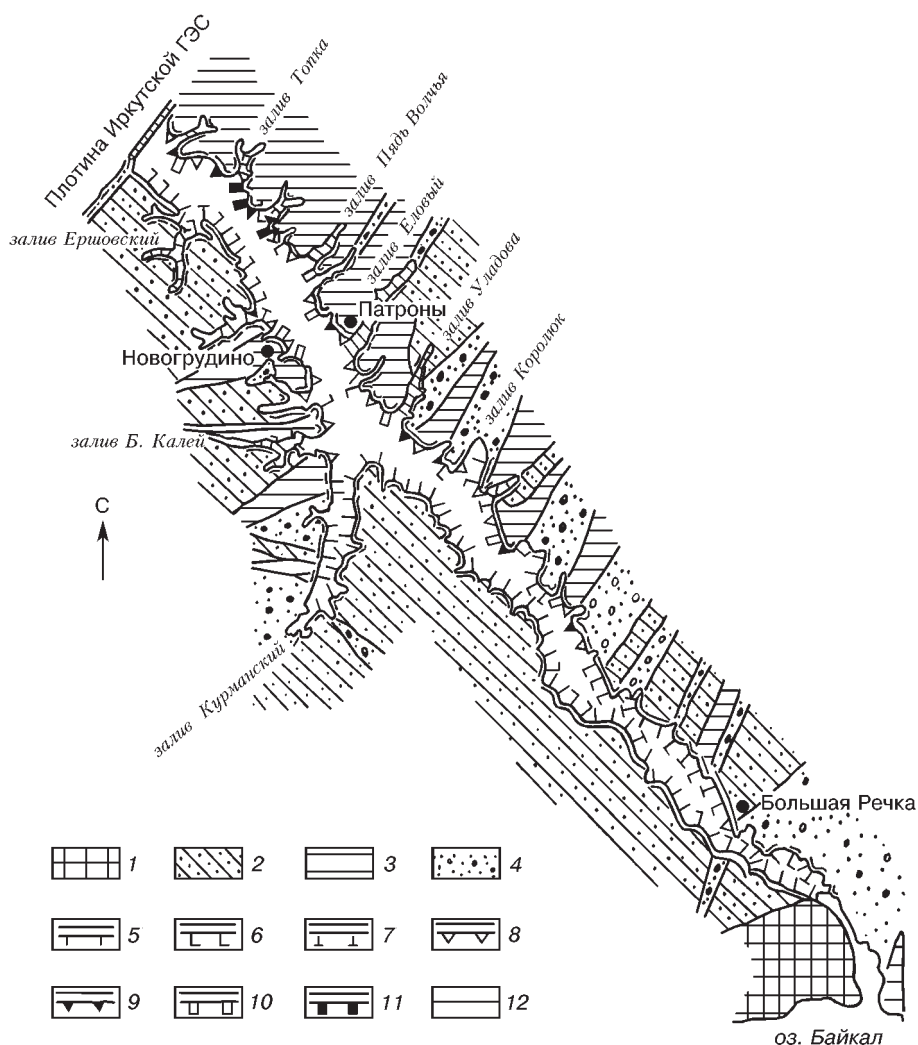


Рис. 3. Карта берегов Иркутского водохранилища по состоянию на 1996 г. (составил Г. И. Овчинников).
Условные обозначения: геологическое строение: 1 – метаморфизованные породы докембрия; 2 – юрские породы; 3 – лессовидные супеси и суглинки; 4 – песчано-суглинисто-галечные отложения. Абразионные берега с шириной размыва, м: 5 – до 10; 6 – 10–20; 7 – 20–30; 8 – 30–50; 9 – 50–70; 10 – 70–100; 11 – более 100; 12 – неразмываемые берега.

пора. Разрушение берега происходит в форме обвалов, осыпей и сплывов; второй – зимне-весенне-летний период характеризуется разуплотнением грунтов в результате замерзания-оттаивания. Вдоль бровки берегового уступа формируется система трещин, отделяющая от побережья полосу дробления шириной от 1 до 5 м, разбитую на многочисленные блоки. По трещинам происходит их смещение на разную глубину. Грунт в блоках находится в нарушенном неустойчивом состоянии. При подъеме уровня происходит интенсивная волновая переработка разуплотненного грунта. Впоследствии механизм разрушения береговых склонов повторяется.

Братское водохранилище является одним из водоемов, характеризующихся сложными инженерно-геологическими, гидродинамическими и морфометрическими условиями. Кроме того, на эти условия накладывается техногенное воздействие, выражающееся не характерными для водоемов такого типа залповыми сбросами воды. Эти условия определили характер развития абразионно-аккумулятивного процесса. Интенсивность размыва берегов за период эксплуатации водоема довольно велика. Абразия береговых склонов происходила в период высокого положения уровня воды. При низких уровнях, отмечающихся в период 1969–1970 и 1975–1983 гг., наблюдался размыв осушенных отмелей, что приводило к их углублению, величина которого изменялась от 0,5 до 4,5 м [9, 20–26].

Понижение уровня воды в зимне-весенний период 1990–1993 гг. на 6,5–3,5 м способствовало осушению отмелей, ширина которых изменялась от 20 до 250 м. В результате размывов сформировались вторичные уступы высотой до 3 м. К осеннему периоду при уровне воды ниже НПУ на 2,5 м на некоторых участках отмель была размыва, углубление ее составило 1–3 м и началась размыв берегового склона, сложенного не только рыхлым материалом, но и скальными породами. Повышение уровня воды в 1994–1995 гг. привело к увеличению интенсивности абразионного процесса и неблагоприятным последствиям для ряда поселков, сельскохозяйственных и лесных угодий.

Если на берегах, сложенных скальными и полускальными породами, начинает проявляться некоторое замедление абразионного процесса в связи с тем, что профиль берега врезался в более монолитные толщи отложений, то на береговых склонах, формирующихся в рых-

лых отложениях, этого не происходит. Объем размыва за период эксплуатации достигает на отдельных участках 1400 м³ на погонную длину берега 1 м. Увеличение объемов происходит равномерно от года к году с некоторыми небольшими отклонениями. Линейного отступления бровки берегового откоса в маловодные годы не происходит, однако объемы размыва в эти периоды за счет абразии осушенных отмелей возрастают (рис. 5).

Чередование периодов высокого уровня воды с низкими создали условия для размывов береговых склонов при уровне воды, отметки которого ниже НПУ на 1,5–2,5 м.

Протяженность абразионных берегов увеличилась с 1300 км в 1982 г. до 2100 км в 1995 г. Таким образом, за 13 лет эксплуатации водохранилища размыву дополнительно подвергались 760 км берега. На некоторых участках берега, ранее не подвергавшихся абразии, размыв берегового склона составил 160 м (около 18 м в год). Наибольшее развитие абразия получила в расширенных участках. В Долоновском и Калтукском расширениях на окинской акватории размывам подвержено около 36 % периметра берега. Максимальные значения достигают 160 м и приурочены к основной акватории, берега которой сложены суглинками. В заливах берега практически не размываются. Абразии подвергаются лишь наветренные склоны в устьевых частях. В этом районе преобладают берега с шириной размыва до 50 м – 205 км; от 50 м и более – 27 км. Максимальному размыву подвержена береговая линия Заярского и Балаганского расширений по ангарской акватории (около 85 % от периметра). Величина отступления берега на отдельных участках,

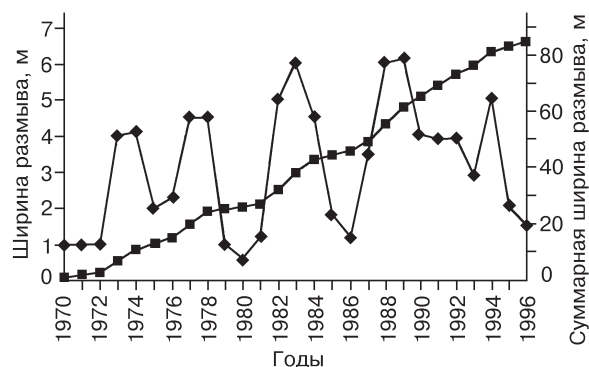


Рис. 4. Изменение ширины размыва берега на участке Ново-Разводная Иркутского водохранилища за период 1970–1996 гг.

сложенных лессовидными суглинками, достигает 200 м. На большей части периметра берега (750 км) ширина размыва не превышает 50 м. Общая площадь потерянных земель за счет абразионных процессов на Братском водохранилище составила около 5000 га.

На берегах **Усть-Илимского водохранилища** интенсивность развития абразионного процесса мала по отношению к другим водоемам ангарского каскада ГЭС. Объясняется это прежде всего тем, что формирование берегов идет в основном в скальных и полускальных породах (76 %). В начальный период эксплуатации водоема абразия берегов практически отсутствовала, что явилось следствием снижения уровня воды в наиболее штормовые периоды [22], а также волногасящих свойств неубранного и плавающего леса. С уменьшением площадей стоящего леса и изменением уровня режима в 1984 г. размыв берега несколько увеличился. Протяженность абразионных берегов к этому периоду составила 78 км. В последующие годы после изменения режима эксплуатации водохранилища протяженность размываемых берегов увеличилась и к 1993 г. достигла 600 км. Размыву подвергся маломощный чехол рыхлых отложений, после чего профиль берега врезался в коренные породы разной степени выветрелости и размыв замедлился. Ширина размыва берега по ангарской акватории в основном не превышает 10 м. Максимальные размывы, достигающие 70 м, отмечаются на берегах, формирующихся в суглинках в преде-

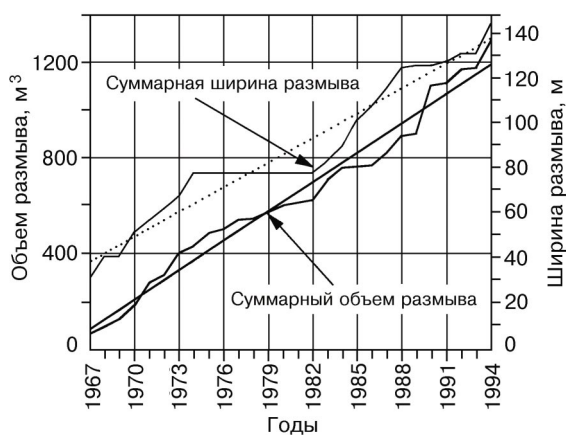


Рис. 5. Суммарные объемы и ширина размыва берега в лессовидных суглинках на участке Первомайский Братского водохранилища за период его эксплуатации.

лах расширений. Аналогичная картина наблюдается на берегах илимской акватории.

К настоящему времени при длительном ряде наблюдений (для Иркутского водохранилища – 34 года, Братского – 29 лет и Усть-Илимского – 20 лет) прослеживается разнопериодическая временная изменчивость абразионного процесса.

Из числа основных особенностей формирования берегов водохранилищ необходимо отметить в первую очередь стадийность их развития. В. М. Широковым [27] выделены две основные стадии – становления и стабилизации. Если на некоторых водохранилищах европейской части России, в Белоруссии, в Польше, характеризующихся небольшими размерами и стабильным режимом их эксплуатации, выделяются обе стадии развития [28, 29], то на водохранилищах ангарского каскада ГЭС этого не отмечается. Они находятся в стадии становления, которая имеет последовательные фазы в своем развитии: при заполнении водоема фазу начального формирования берегов интенсивной их переработкой при нормальной эксплуатации и фазу постепенного затухания процесса формирования берегов при выработке профиля относительного динамического равновесия в наиболее продолжительные периоды высокого уровня воды.

В ходе развития берегов ангарских водохранилищ отмечается не только общая тенденция постепенного уменьшения их переработки, но и периоды значительного усиления абразионного процесса, особенно для берегов, формирующихся в рыхлых отложениях. Периодическое усиление абразионного процесса, отмечающее на Иркутском и Братском водохранилищах, в основном связано с техногенными изменениями в режиме эксплуатации. Немаловажную роль в этом играет выветривание горных пород, связанное и с периодическим замачиванием, и высушиванием. На Усть-Илимском водохранилище интенсивность развития абразионного процесса значительно снизилась, и связано это в первую очередь с тем, что профиль берега врезался в коренную основу, а режим уровня в водоеме в последние годы стабилизирован.

Немаловажное значение в развитии побережья имеют эоловые процессы, развивающиеся большей частью в береговой зоне на осушенных отмелях, сложенных песчаными наносами,

и приводящие на отдельных участках к потерям полезных земель. Интенсивность эолового переноса определяется прежде всего составом размываемых отложений, сезонным и многолетним колебанием уровня воды, областью питания, режимом и скоростью ветров над водохранилищем. Значительное развитие эоловые процессы получили в береговой зоне Братского водохранилища, большое влияние на формирование которых оказывает амплитуда колебания уровня воды, способствующая значительному осушению отмелей. За счет эоловой денудации с осушенных песчаных отмелей за их пределы были вынесены тысячи кубических метров песка. Их углубление на некоторых участках берега изменялось от 5 см до 1,0 м.

Более подробно закономерности развития эолового процесса охарактеризованы нами в специальных работах [30, 31], здесь же мы хотим подчеркнуть их геоэкологическое значение для побережных участков водоемов, а именно то, что значительная часть эоловых наносов выносится за пределы осушенной отмели на береговые склоны, формируя песчаные поля с многочисленными небольшими буграми, дюнами. Так, на участке Рассвет площади, занятые эоловыми образованиями, сформированными в 1975–1995 гг., составляют около 40 000 м². Следует подчеркнуть, что на водохранилище можно выделить неактивные эоловые образования, которые сформировались в глубине лесных массивов и стали зарастать растительностью; слабоактивные – поверхность которых начинает зарастать травянистой растительностью, но наблюдается слабое перемещение песчаных наносов; отмирающие, формирование которых шло активно при низких уровнях воды в водохранилище, но при его подъеме они попали в зону размыва и слагающий их материал перенесен волнением на другие участки береговой зоны, давая начало новому циклу эоловых форм при понижении уровня воды в водохранилище. Результаты исследований показывают, что от 30 до 60 % эоловых наносов выносятся с осушенной отмели за ее пределы, а остальная часть перераспределяется по ее ширине.

В береговой зоне эоловые процессы приводят к резкому нарушению баланса наносов и формированию новых береговых форм рельефа. Образование эоловых форм уменьшает нагрузку потока и вызывает явление размыва ниже по ходу потока. Любое крупное скопление песка на берегу означает, что по общим законам динамики берегов [34] здесь могла бы

образоваться аккумулятивная форма достаточно большой площади. Кроме того, эоловая денудация осушенных песчаных отмелей, особенно в маловодные годы, способствует активизации абразионного процесса в последующие периоды высокого уровня воды.

По результатам исследований на ангарских водохранилищах произведен прогноз размыва берегов на 25-летнюю стадию развития. Расчеты проводились по методике, разработанной в Институте земной коры СО РАН, учитывающей весь спектр факторов (геолого-геоморфологические, морфометрические, гидродинамические), влияющих на динамику берегов [33]. Величина размыва берегов на ангарских водохранилищах в значительной степени определяется геологическим строением береговых склонов. На преобладающей части периметра водохранилищ береговая линия проходит по склонам, сложенным скальными и полускальными горными породами, перекрытыми толщей рыхлых отложений. За период эксплуатации водохранилищ на абразионных берегах почти повсеместно рыхлые отложения оказались размываемыми и вскрылись породы коренной основы разной степени выветрелости. На таких участках ширина размыва берега в предстоящий период будет незначительной и не превысит 10–15 м. По водохранилищам ангарского каскада их протяженность составит около 2000 км. Береговые отмели здесь будут абразионными с незначительным количеством наносов на их поверхности. В связи со значительным колебанием уровня воды на Братском водохранилище сформировавшиеся ранее аккумулятивные формы будут размываться, а слагающие их наносы перемещаться в глубоководную часть. Берега с такой интенсивностью размыва будут располагаться в пределах узких участков водохранилища и вблизи устьевых частей многочисленных заливов.

Берега с интенсивностью размывов до 20 м за 25 лет по всем водохранилищам будут прослеживаться на протяжении 475 км. Такая величина размыва отмечается в большинстве случаев на береговых склонах, сложенных выветрелыми коренными породами. Участки приурочены к акваториям с довольно слабой интенсивностью ветрового волнения. Берега с шириной размыва до 30 м будут наблюдаться на участках с более высокой интенсивностью ветрового волнения, но сложенных выветрелыми горными породами, или на участках с довольно слабой интенсивностью волнения, но сложен-

ных рыхлыми отложениями. Общая протяженность их по водохранилищам составит более 200 км. Размывы берегов до 50 м и более будут регистрироваться на берегах, сложенных в основном рыхлыми отложениями и характеризующихся значительными величинами волновых нагрузок. В основном берега с такой интенсивностью абразионного процесса располагаются по периметру береговой линии расширенных участков акваторий водохранилищ. Следует отметить, что на Усть-Илимском водохранилище таких значений размывов наблюдаться не будет. Объясняется это в первую очередь существованием до настоящего времени участков прибрежных акваторий со стоящим полузатопленным древостоем, выполняющим роль естественного волногасителя. Предполагается, что древостой будет сохраняться еще длительное время. Кроме того, препятствовать размыву будет скопление вдоль береговой линии большого количества плавающей древесины, которая выполняет роль берегозащитного сооружения. Подавляющая часть берегов с шириной размыва более 50 м прогнозируется на Братском водохранилище (41 км) и приурочена к участкам, сложенным рыхлыми отложениями. Около 13 км с такими размывами прогнозируется по правобережью Иркутского водохранилища. Согласно выполненному прогнозу, за предстоящий период в 25 лет вдоль береговой линии водохранилищ будет размывто около 4000 га прибрежных земель. Подавляющая часть этой площади занята древесной растительностью различного качества. Размыву будут подвержены сельскохозяйственные угодья и пастбища, отдельные участки населенных пунктов и городов, садоводства как на Братском, так и на Иркутском водохранилище.

Кроме абразии геологическую обстановку существенно осложняют карст и оползни, техногенная активизация которых привела к исключению из хозяйственного использования значительных площадей побережий водоемов. Подробно эти процессы охарактеризованы во многих публикациях [9, 18, 34], поэтому здесь остановимся лишь на их краткой характеристике.

Серьезное изменение геологической обстановки в Южном Приангарье обусловлено активизацией сульфатного карста, связанного с гипсангидридовыми породами кембрия. Здесь широко проявились катастрофические деформации земной поверхности – провалы, воронки, просадки, рвы и т. п. явления, отме-

чены деформации зданий и сооружений. Ширина зоны активизации сульфатного карста составляет 5–6 км при наибольшей интенсивности провалообразования в приурезовой полосе до 1 км. В последние годы активность карстового процесса определяется уречным режимом Братского водохранилища и, к большому сожалению, не затухает, а наоборот, имеет тенденцию к площадному распространению в глубь прибрежных массивов [10, 35].

Также активно развиваются оползни [34, 36, 37 и др.]. При этом, наряду с интенсивной динамикой глубоких блочных оползней выдавливания, на берегах Усть-Илимского водохранилища активизировался процесс формирования оползней-сплывов, возникающих в начале лета в рыхлых покровных образованиях по кровле оттаявшей мерзлоты. В целом пораженность берегов ангарских водохранилищ оползневыми деформациями не велика. Пока они еще не оказывают серьезного воздействия на объекты народного хозяйства. С другой стороны, даже на этих нескольких (не более трех десятков) оползневых склонах в смещение втянуты огромные массы грунтов (миллионы и сотни тысяч кубических метров). В связи со слабой освоенностью побережий водоемов все оползни пока отнесены к категории повышенной и умеренной опасности с медленным стабильным характером движения и небольшим риском. Однако активизация этих оползней угрожает ценным земельным угодьям, в первую очередь водоохраным лесным зонам.

На берегах крупных сибирских водохранилищ особую геологическую проблему составляет проблема защиты растительности в целом. Казалось бы, эти вопросы не имеют прямого выхода на водохранилища, однако создание ГЭС для обеспечения энергией крупных лесоперерабатывающих комплексов, пожирающих лесные массивы с прилегающих к водоемам территорий, существенно воздействуют на ГС. Практически сплошная свodka леса на приводораздельных пространствах Братского и Усть-Илимского водохранилищ привела к активизации процессов линейной эрозии. Свежие эрозионные формы, развивающиеся на местах временных лесовозных дорог, достигают здесь длины 450–500 м при глубине до 2 м. Изучение линейной эрозии на Братском водохранилище проводится на специальных микрополигонах, представляющих из себя участки

квадратной формы со стороной 100 м и разбитые на более мелкие площадки размером 10 × 10 м. Микрополигоны располагаются как на вырубках, так и в пределах участков в девственной нетронутой тайге. Выполненные исследования показали, что в пределах нетронутого леса и неповрежденной дернины эрозионные формы отсутствуют. В это же время на отдельных вырубках ими к настоящему времени поражено до 14 % территории. При этом даже при одноразовом проезде тяжелой техники поперек склона по проложенной колее формируются эрозионные борозды, через 2–3 года превращающиеся в овраги. Показательны в этом отношении микрополигоны в районе дер. Подвoločной на свежей и старой вырубках. Свежая вырубка (конец 80-х гг.) – коренной склон южной экспозиции крутизной 2–3°, сложен песчаниками ийской свиты ордовика, перекрытыми рыхлыми образованиями мощностью до 2 м. Лес вырублен полностью, остались единичные деревья, дерн поврежден повсеместно. Вдоль лесовозных дорог – эрозионные борозды глубиной до 0,4 м и максимальной протяженностью до 32 м. Общая пораженность эрозией к 1995 г. – 14 %. Ежегодный прирост пораженных площадей составляет 0,7–0,8 %, с увеличением длины эрозионных форм 0,6–0,7 м и глубины 0,15–0,20 м за год.

Второй микрополигон расположен на южном склоне крутизной 1–2°, геологическое строение участка аналогично вышеописанному. Вырубка старая, более 50–60 лет, бывшее так называемое плотбище, поросла молодым лесом – сосной, березой, ольхой, осинкой. Дерн крепкий, прочный. Транспортировка срубленного леса производилась гужевым транспортом по единственной дороге, существующей и сейчас.

Ни одной старой или новой эрозионной формы не отмечено. Растительность способствует и сохранению запасов воды в поверхностных водотоках. Уничтожение лесов в пределах Ангаро-Окинского водораздела обусловило не только сокращение расходов многих речек и ручьев, но и полное исчезновение отдельных из них. Не нужно быть большим провидцем, чтобы предсказать аналогичные явления на побережьях и других крупных водохранилищах Сибири, где происходит интенсивная вырубка лесов. Уничтожение растительности сказывается и на истощении запасов подземных вод [38].

Таким образом, первый почти полувековой период эксплуатации крупных водохранилищ Сибири показал, что их воздействие на ГС неоднозначно и во многих случаях отрицательно. Потери земельных угодий за счет проявления техногенных процессов, вырубка лесов, подтопление территорий, эксплуатационные залповые сбросы воды, отсутствие критериев установления водоохранных зон – все приводит к негативным изменениям не только ГС, но и природы в целом.

К положительным факторам изменения ГС следует отнести: формирование новых крупных месторождений пресных вод, их опреснение на ряде участков, где до заполнения водоемов они были солеными (более 1 г/л), обогащение подземных вод кислородом (с 15–18 до 29 мг/л), что улучшает их качество.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 97-05-65-838) и ведущей научной школы (проект 96-15-98509).

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. В. Чарушин, *Бюл. МОИП, Отд. геол.*, 1957, **32**: 3, 117–135.
2. А. И. Кононов, в кн.: Геологическое строение и нефтегазоносность Иркутского амфитеатра, М., Гостоптехиздат, 1960, 92–129.
3. С. Х. Павлов, в кн.: Гидрогеология и инженерная геология Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1990, 33–38.
4. Н. И. Соколов, Тр. лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, М., 1957, 14, 124–151.
5. Братское водохранилище. Инженерная геология территории, М., Наука, 1963.
6. Н. А. Журавель, *Сов. геология*, 1977, 7, 131–133.
7. С. Х. Павлов, в кн.: Региональная гидрогеологическая и инженерная геология Восточной Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1978, 97–104.
8. В. П. Маслов, В. Г. Науменко, в кн.: Растворение и расщелачивание горных пород, М., 1957, 54–60.
9. Г. И. Овчинников, С. Х. Павлов, Ю. Б. Тржцинский, *Геоэкология*, 1996, 3, 101–112.
10. В. М. Филиппов, Динамика карста ангарских водохранилищ: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук, Л., 1988.
11. В. М. Филиппов, в кн.: Некоторые вопросы геоморфологии Восточной Сибири, Иркутск, 1981, 131–140.
12. С. Х. Павлов, В. М. Филиппов, Тез. докл. Геоморфологический риск, Иркутск, 1993, 122–123.
13. С. Х. Павлов, *Водные ресурсы*, 1990, 2, 187–190.
14. И. П. Константинов, В. Л. Суходровский, в кн.: Изучение берегов водохранилищ Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1972, 62–73.
15. Г. М. Пуляевский, А. А. Белоусов, Г. И. Овчинников, в кн.: Береговые процессы в криолитозоне, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1984, 50–57.
16. Гидрогеология СССР, т. XXIII, М., Наука, 1971.

17. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. Под. ред. Г.В.Воропаева и А. Б. Авакяна, М., Наука, 1986.
18. В. С. Кусковский, В. М. Маслов, Ю. Б. Тржцинский, *Инженерная геология*, 1991, 3, 60–65.
19. А. В. Пинегин, в кн.: Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Иркутское водохранилище, Л., Гидрометеиздат, 1980, 82–89.
20. Г. И. Овчинников, в кн.: *Записки Забайкальского геогр. об-ва СССР*, Чита, 1970, 51, 46–52.
21. Г. И. Овчинников, в кн.: Научные и практические основы управления техническим состоянием ангарских водохранилищ, Братск, 1984, 110–112.
22. Г. М. Пуляевский, Г. И. Овчинников, В. В. Тарасов, в кн.: Изменение геологической среды и их прогноз, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1985, 93–103.
23. Г. И. Овчинников, Г. А. Карнаухова, Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1985.
24. Г. М. Пуляевский, Г. И. Овчинников, Моделирование и прогнозирование геофизических процессов, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1986, 39–46.
25. Г. И. Овчинников, С. А. Макаров, В. В. Акулова, Т. Г. Рященко, *География и природ. ресурсы*, 1992, 4, 79–86.
26. G. I. Owchinnikow, Kształtowanie środowiska geograficznego i ochrona przyrody na obszarach przemysłowych i zurbanizowanych, Katowice–Sosnowiec, 1996, 23, 38–42.
27. В. М. Широков, Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1974.
28. В. М. Широков, П. С. Лопух, В. Е. Левкевич Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны, СПб, Гидрометеиздат, 1992.
29. M. Banach, Morfodinamika strefy brzegowej zbiornika wloclawek, Wroclaw–Warszawa–Krakow, 1994.
30. Г. И. Овчинников, М. В. Шульгин, Е. С. Орехова, Тезисы докладов IX конференции молодых научных сотрудников по геологии и геофизике Восточной Сибири, Иркутск, 1989, 91.
31. G. I. Owczinnikow, Wspolczesne oraz kopalne zjawiska i formy eoliczne. Wybrane zagadnienia. Sosnowiec, Polska, 1996, 102–110.
32. В. П. Зенкович, Основы учения о развитии морских берегов, М., 1964.
33. Формирование берегов ангарских водохранилищ, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1976.
34. Проблемы охраны геологической среды на примере Восточной Сибири. Под ред. Е. В. Пиннекера, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1993.
35. Guide des terrains Karstiques choisis De la Siberie Orientale et de i oural, Red. M. Pulina, J. V. Trzcinski, Sosnowiec, Universitete de Silesie, 1996, 126.
36. Ю. Б. Тржцинский, Е. П. Сараева, в кн.: Экзогенные процессы и проблемы рационального использования геологической среды, Ташкент, 1985, 9–15.
37. Ю. Б. Тржцинский, Н. И. Демьянович, в кн.: Изучение берегов водохранилищ Сибири, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1977, 97–117.
38. Ю. Б. Тржцинский, Ф. Н. Лещиков, Формирование берегов ангаро-енисейских водохранилищ, Новосибирск, Наука, Сиб. отд-ние, 1988, 44–50.

Ecological Changes of Geological Enviroment under the Influence of Large Reservoirs of Siberia

V. S. KUSKOVSKY, G. I. OVCHINNIKOV, S. KH. PAVLOV,
YU. B. TRZCINSKY, E. S. OREKHOVA, E. A. KOZYREVA

Results of studies of changes in the geological enciroment under the influence of large artificial water bodies set up in Siberia (first of all, on the Angara river) for electric power production are presented. The 25–40-year-long study of exogenous geological processes, subterranean water regime at special stations situated on the coasts of reservoirs has permitted making an estimation of quantitative and qualitative changes of geological environment under the influence of these reservoirs. During exploitation of the reservoirs, due to annual and multiannual oscillations of their water levels, a continuous re-formation of subterranean water head is taking place, which results in a high mobility of hydrogeochemical frontiers in the hydrostatic upturust zone and worsens the hydroecological situation in a large territory.

The presence of strongly icy permafrost rocks, and the large draw-down amplitude of the Vilyui and Zeya reservoirs (up to 15 m) create, together with abrasion, favorable conditions for a wide development of solifluxion and thermokarst in the coastal zone.

Among exogenous geological processes on Angara reservoirs, abrasion processes have been the most developed, both in intensity and scale. They involve the coastal line at about 3000 km which makes up 36 % of its total length. The total area of lost lands, only at the expense of wash-out, amounts to 5500 ha. The maximal width of wash-out reaches 200 m and is attached to coasts whose formation takes place loamy sediments.

Widely developed are aeolic processes in the coastal zone on irrigated shallows, where their deepening due to denudation varies from 5–7 cm to 1.0 m. The results of studies show that 30 to 60 % of aeolic drifts is carried away from the dried shallows out of their limits.

Due to actively developing landslides, huge masses of grounds (millions of cubic meters) are involved in soil creeps. Activation of these landslides threatens valuable lands, first of all water-protecting forest zones.

Together with characterization of the geocological state of coasts of Angara cascade reservoirs, and also of the Vilyui and Zeya reservoirs, the authors have carried out a background forecast of their further development.