

УДК 551.435.11

*Г.Ю. Ямских, А.В. Кожуховский, К.В. Марусин, Е.А. Федорова***ПРОГНОЗ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В РАЙОНЕ ПОСЁЛКА КУРТАК**

Представлен анализ и прогноз береговых процессов на участке Красноярского водохранилища в районе поселка Куртак, где идут наиболее интенсивные процессы берегопереработки. За последние 50 лет берег здесь отступил в среднем на 350 м и продолжает активно разрушаться со скоростью 3-5 м в год. Несмотря на то, что интенсивность береговых процессов на данном участке значительно уменьшилась (в основном за счет общего понижения уровня Красноярского водохранилища), скорость отступления берега все еще велика. Однако, опираясь на результаты выполненного прогноза, можно заключить, что для рассмотренного участка процесс переработки берегов реальной угрозы для хозяйственной деятельности в ближайшие 30 лет не несет. Апробированы различные методики прогноза береговых процессов и выбрана наиболее приемлемая для берегов схожего типа. Верификация моделей проводилась на основе данных многолетнего мониторинга данного участка, что дало возможность сравнить результаты прогнозов по разным методикам с реальным отступанием берега на данном участке.

Ключевые слова: берегопереформирование, экзогенные процессы, Красноярское водохранилище, Куртак.

DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-267-278

При рассмотрении процессов, происходящих при взаимодействии искусственных водоемов с их берегами, используют два термина – «переработка берегов» и «переформирование берегов». Под переработкой берегов понимается отступление берега искусственного водоема вглубь суши вследствие гидродинамического воздействия, обусловленного главным образом ветровыми волнами. Под переформированием берегов водохранилищ подразумевается их разрушение в результате проявления комплекса экзогенных геологических процессов (переработка берегов, оползни, осыпи, обвалы, оврагообразование и т.п.), обусловленных созданием и эксплуатацией водохранилищ [1].

В настоящее время существует более 20 методов прогноза переработки берегов. Большинство из них появились в 40–50-е годы XX в. в период бурного гидроэнергетического строительства в СССР. В 1975 г. группой специалистов из различных организаций и регионов страны под эгидой Всесоюзного научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева был проведен анализ существовавших на тот момент методов прогноза и сопоставление их результатов с данными натурных наблюдений. Итогом этой работы стало издание ведомственных «Методических рекомендаций по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ» [2]. До настоящего времени эти «Рекомендации...» являются единственным руководящим документом по данному вопросу. В них в качестве основных методов прогноза предусмотрено использование методов Г.С. Золотарёва [3] и Е.Г. Качугина [4].

В конце прошлого и в начале нынешнего века в российском гидростроительстве, и как следствие, в области мониторинга, изучения и прогнозирования переработки берегов водохранилищ по понятным причинам наступил некоторый застой. Однако в последние годы в связи с созданием новых ГЭС (завершено строительство Богучанской ГЭС и Бурейской ГЭС, вводится в строй Нижне-Бурейская ГЭС – контррегулятор Бурейской ГЭС) наблюдается существенное оживление, поэтому обращение к задаче верификации (оценки оправдываемости) методов прогнозирования переработки берегов водохранилищ представляется авторам актуальным.

Объект и методы исследований

Поселок Куртак Чулымского сельсовета Новоселовского района Красноярского края расположен на левом берегу Красноярского водохранилища в его средней части, в 131 км (по судовому ходу) от плотины Красноярской ГЭС и в 67 км к северо-востоку от районного центра Новоселово (рис. 1).

Рассматриваемый далее участок берега на окраине п. Куртак простирается от залива Чаны в юго-западном направлении на 1600 м до заросшего лесом лога (рис. 2).

Береговой склон участка представлен V, VI и VIII надпойменными террасами Енисея. В верхней части террасы сложены лессовидными супесями мощностью до 40 м. Берег у п. Куртак демонстрирует максимальную для всего водохранилища интенсивность разрушения.

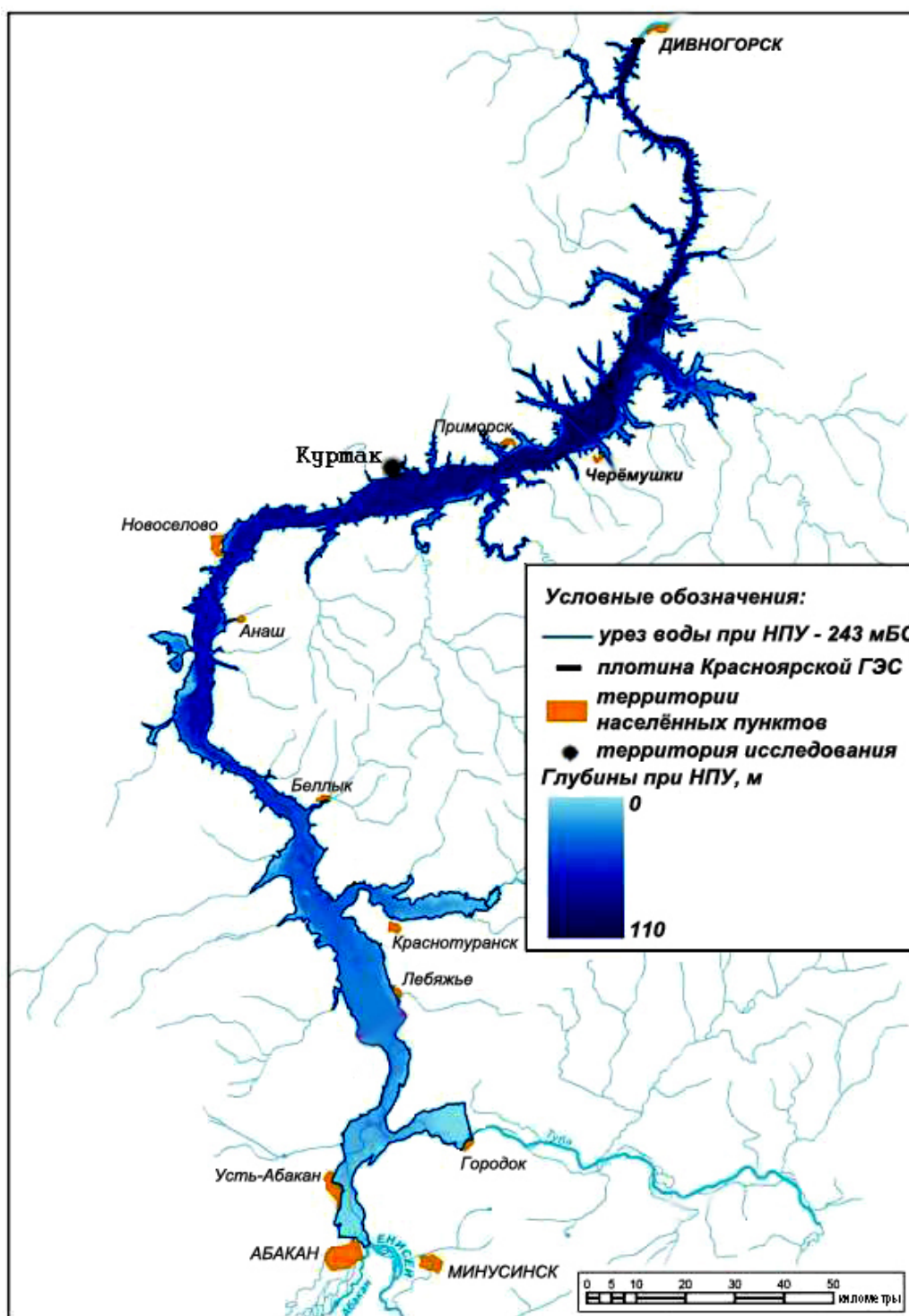


Рис. 1. Красноярское водохранилище

Непосредственно к бровке берега примыкает территория базы отдыха Красноярского педагогического университета. Однако на сегодняшний день база отдыха прекратила свою работу. Прочие хозяйственные и жилые объекты поселка находятся на расстоянии 450 м и более от бровки берега. Прибрежная полоса используется местными жителями только для выпаса скота.

Регулярные и широкомасштабные наблюдения за переработкой берегов Красноярского водохранилища велись от момента его создания до 1982 г. в основном сотрудниками ныне уже несуществующего Сибирского научно-исследовательского института энергетики (СибНИИЭ).

Еще до начала заполнения водохранилища были выбраны опорные участки наблюдений за переработкой берегов в разнообразных комбинациях геоморфологических, инженерно-геологических и гидрологических факторов их формирования. На опорных участках выполнялись регулярные и геодезически точные наблюдения за отступанием бровки берега, изменениями его профиля, процессами формирования прибрежных отмелей и т.д. Результаты этих наблюдений отражены в технических отчетах, любезно предоставленных в наше распоряжение руководителем этих работ В.М. Савкиным, и отчасти в научной литературе [5; 6].

В 2008–2016 г. при обследовании данного участка было обнаружено два из ранее заложенных реперов: а) репер №1 – свая №488; б) репер №2 – свая №800 (рис. 2).

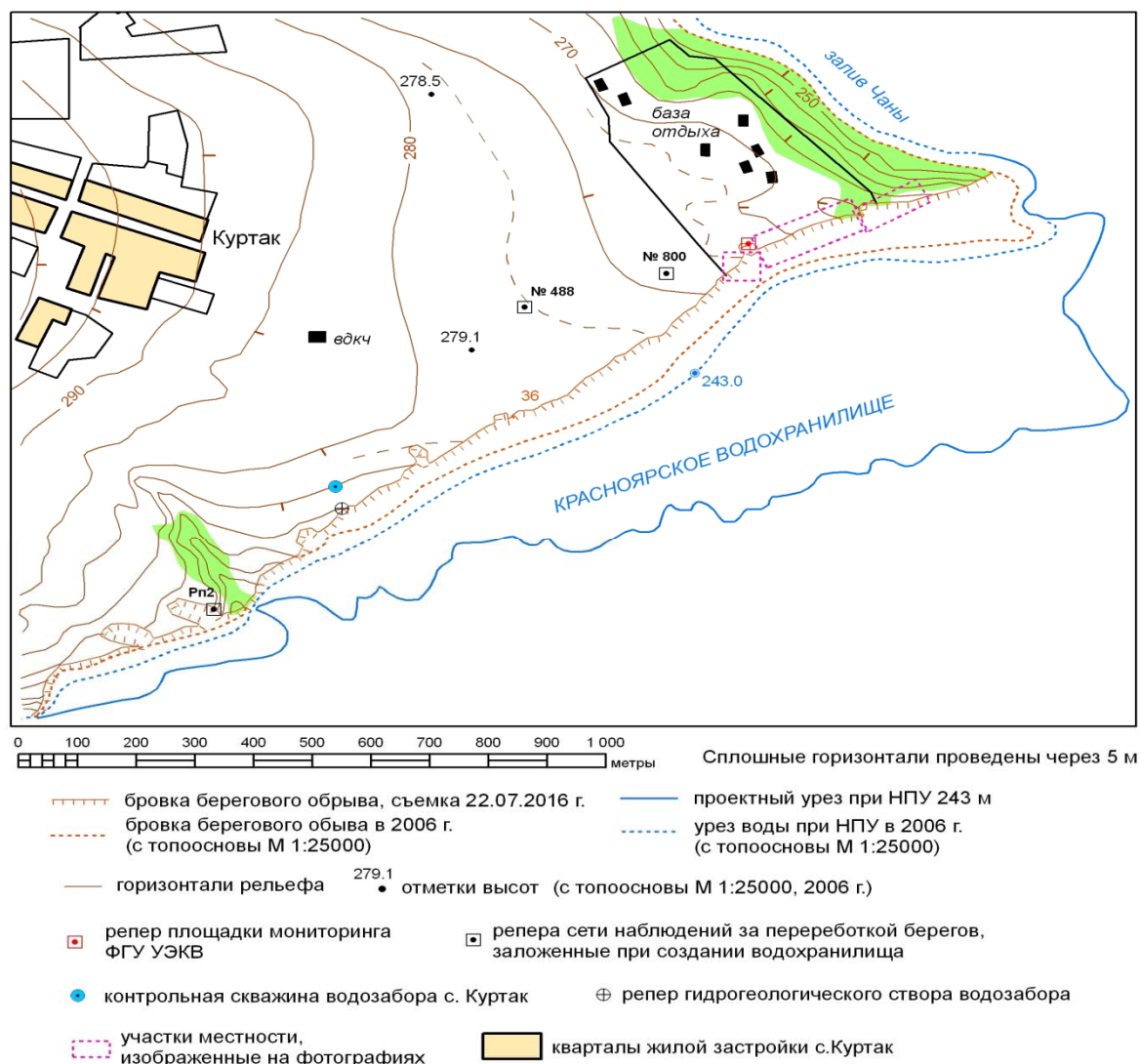


Рис. 2. План-схема участка береговой зоны пос. Куртак

Этого оказалось достаточно для восстановления и пространственной привязки почти всей опорной сети, что в свою очередь позволило корректно соотнести ретроспективные и современные данные и получить точную картину развития берега на данном участке за весь период существования водохранилища (рис. 3, 4).

В первый год заполнения водохранилища (1967 г.) коренные породы, находящиеся в нижней части берегового склона, в восточном районе участка оказались затопленными и урез воды подошел непосредственно к рыхлым покровным отложениям. Их подмачивание на контакте со скальными породами привело к интенсивным подвижкам в виде оползней и обвалов объемных масс грунта по многочисленным трещинам. Большие глубины в прибрежной зоне, достигающие 15–20 м, обусловили

вынос обрушенного материала особенно в первый год существования водохранилища. Так, за период с августа по сентябрь берег в восточной части отступил на 95 м при объеме обрушенного грунта до 4850 м³ на 1 пог. м.

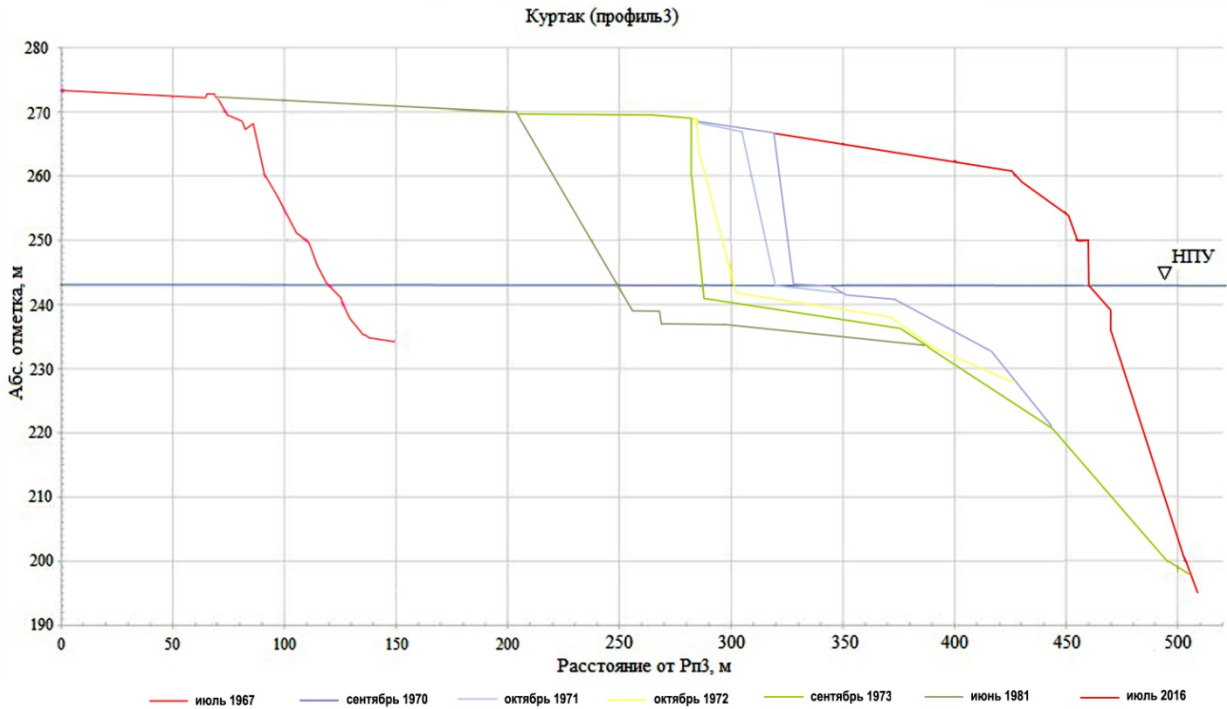


Рис. 3. Отступление бровки берега на участке Куртак в среднем по заложенным профилям в период 1967–2016 гг.

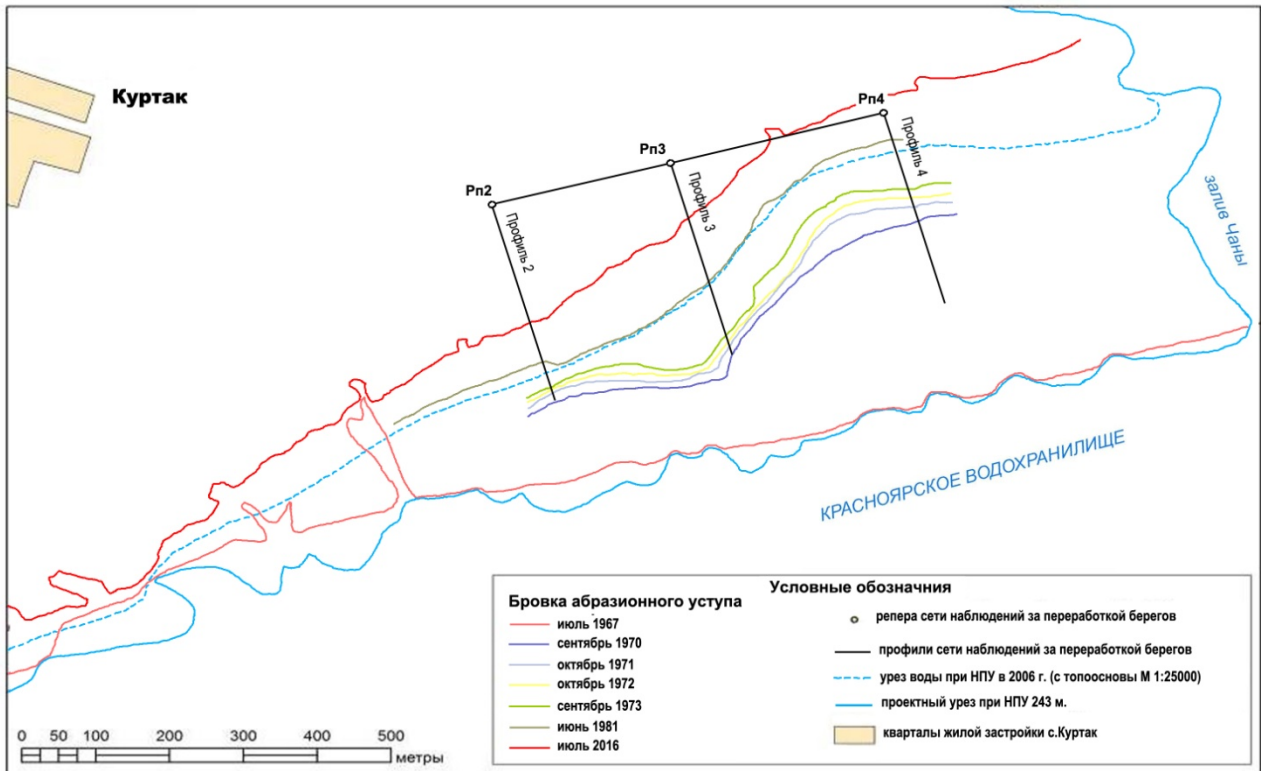


Рис. 4. Отступление бровки берега в районе п. Куртак в период 1967–2016 гг.

В 1968 г. разрушение берегового склона на участке продолжало развиваться, оно было меньшим, чем в 1967 г., что связано со значительно меньшим подъемом уровня водохранилища. Обрушение берега происходило по участку неравномерно.

Наибольшее разрушение, как и ранее, отмечалось в восточной части мысового участка. В средней и западной частях обрушение проявлялось слабее. Неравномерность обрушений берега на таком сравнительно прямолинейном участке связана с неровностью кровли отложений палеозоя, так как коренные породы на отдельных отрезках участка оставались выше уровня водохранилища.

В 1969 г. переработкой не были охвачены лишь места, где коренные породы еще возвышались над уровнем водохранилища. Береговой откос представлял крутой ($70\text{--}80^\circ$) обнаженный обрыв. В верхней части обрыва выделялась вертикальная стенка высотой 3,0–3,5 м, часто отвесный уступ прослеживался и над урезом воды. В нижней части надводного уступа прослеживались волноприбойные ниши, достигавшие в диаметре 1,5 м и глубины до 1,0 м. Как и в прошлые годы, наиболее интенсивная переработка берега в 1969 г. происходила в восточной части участка, где к концу третьего года наполнения водохранилища правобережный мыс р. Чаны оказался полностью разрушенным.

В 1970 г. обрушения на участке продолжались. Возросла интенсивность этих процессов в центральной части участка, где в результате предыдущего подъема уровней произошла подготовка берегового склона к обрушению.

Максимальное отступление берега на участке за период 1967–1970 гг. составило 274 м.

В 1967 г. протяженность разрушающегося берега не превышала 0,6–0,7 км от устья р. Чаны в западном направлении, в 1969 г. протяженность обрушаемых берегов составила около 2 км, увеличившись в 1970 г. до 3 км. Объем обрушенного грунта с 1119200 м^3 в 1968 г. увеличился до 1879965 м^3 в 1969 г., а общий за период наполнения превысил 3 млн м^3 .

Под воздействием гидродинамического режима водохранилища на участке Куртак развивался абразионно-оползневый тип берега. Постоянное воздействие на склон оказывали и эоловые процессы, но они были существенно малозначительными по сравнению с абразионно-оползневыми.

Склоны береговой зоны, сложенные супесями с преобладанием в них мелких фракций (0,05–0,01 мм) при разрушении обусловили затяжной характер формирования прибрежных отмелей. При обрушении грунта под воздействием волнового потока в условиях приглубинного берега формировались аккумулятивные призмы в той части, где волнение практически не оказывало на них воздействие.

В период начальной нормальной эксплуатации водохранилища, когда береговая линия отступила за линию перегиба поверхности кровли коренных пород с уклоном в сторону суши, темпы обрушения берега резко сократились. За период 1970–1974 гг. размыв берега по 4 профилю составил 88 м, по третьему – 30 м, по второму 24. Во вторую стадию (до 1981 г. включительно) размыв по 4 профилю равен 34 м, 2 – 40 м, и 3 – 32 м.

На основании анализа профилей за 1980 г., когда имело место длительное увеличение уровня воды в осенний период, отступление береговой линии по профилям 2, 3 и 4 соответственно составило 8 м, 18 м и 8 м. Наибольшему размыву подвергался мыс в устьевом участке реки Чаны. Линейное отступление составило 40 м и превысило размыв за 1975–1979 гг. Активной абразии был подвержен и мыс по профилю 3–18 м. На мысовом участке (профиль 3) к концу 1980 г. размер формирующейся абразионной отмели составил больше 200 м по первому и четвертому профилю соответственно – 80 м и 75 м. В 1981 г. уровень не достиг проектной отметки на 12,6 м. Береговые склоны оставались достаточно устойчивыми, поскольку были отделены от вреза воды зоной осушки. Интенсивной абразии подверглась внешняя часть отмели (рис. 5).

Морфологические замеры береговой зоны от уреза воды до основания клифа производились на данном участке в 2009 г. Кроме того, в этом же году производился сбор данных и характеристика форм рельефа, преобладающих на берегах. Берег был исследован на протяжении 950 м. Аналогичные исследования береговой зоны также производились в 2011–2013 гг. [7]. При инструментальном обследовании данного участка в 2013–2016 гг. установлено, что в настоящее время берег представляет собой крутой склон с уклоном от 45° и выше, в верхней части переходящий в вертикальный уступ высотой до 36 м. В нижней части профиля берега четко выражен вторичный абразионный уступ высотой до 2 м. Берег в пределах всего участка непрерывно разрушается и отступает вглубь суши, на момент обследования бровка берега располагается на удалении до 600 м от проектного положения линии НПУ (рис. 3–4).



Рис.5. Абразионный берег в момент осыпания в районе исследования

Результаты и их обсуждение

Наблюдения на участке у п. Куртак дают ясную и подробную картину эволюции берега за весь период существования Красноярского водохранилища.

На основании использования методов прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарёва и Е.Г. Качугина [3; 4] были осуществлены прогнозные расчеты переработки берегов Красноярского водохранилища при его проектировании. В дальнейшем было проведено тестирование исходного профиля берега по состоянию на 1971 г. в пос. Куртак для трех наблюдательных створов участка (Рп2, Рп3 и Рп4 на рис. 3) и выполнен прогноз его переформирования на период в 10 лет по обоим вышеупомянутым методам, произведено сравнение полученного результата с действительным положением берега 1981 г. Выбор 1971 г. в качестве начальной точки прогноза обусловлен тем, что НПУ водохранилища был достигнут в июле 1970 г., при этом оба рассматриваемых метода предполагают именно режим нормальной эксплуатации водохранилища. 1981 г. используется в качестве конечной точки, потому что: во-первых, имеющиеся метеоданные покрывают период с 1970 по 1980 г.; во-вторых, метод Г.С. Золотарёва обеспечивает прогноз только на 10 лет и конечную стадию; в-третьих, потому что с 1982 по 1991 г. уровень режим Красноярского водохранилища отличался большой нестабильностью в связи со строительством и вводом в строй вышележащих ГЭС Енисейского каскада (Саяно-Шушенской и Майнской). Рис. 4 отражает хорошо просматриваемую тенденцию эволюции береговой линии на рассматриваемом участке.

Если в 1967 г. азимут внешней нормали к береговой линии в пределах участка составлял 166° , то в 1980 г. уже 150° , в 2013 г. – 145° , то есть береговая линия имела тенденцию движения против часовой стрелки, стремясь выйти из зоны действия наиболее мощных и часто повторяющихся ветров юго-западного направления. С 1970 г. и по настоящее время берег на участке открыт для действия ветра и, соответственно, волнениям по 7 направлениям из 16: В, ВЮВ, ЮВ, ЮЮВ, Ю, ЮЮЗ, ЮЗ. Эти направления являются активными. Наблюдения за ветром в пункте Приморск производились на высоте 80 м над НПУ водохранилища. Расчетная точка для определения параметров (высот и периодов) волн, генерируемых ветрами активных румбов, была выбрана в центре участка наблюдений (в створе профиля №3) на глубине 50 м при НПУ. Построение прогнозируемого профиля берега в методе Г.С. Золотарёва должно начинаться с построения прибрежной отмели, для чего было необходимо определить её тип. Поскольку на рассматриваемом участке склон сложен облессованными супесями и суглинками – тип берега можно принять за абразионный [8; 9].

Так как аккумулятивная часть прибрежной отмели отсутствует, то точкой, от которой начинается построение прогнозного профиля, является первоначальное основание склона, где в соответствии с рекомендациями Г.С. Золотарёва [10]: $H = 1,5h_b$, где h_b – расчетная высота волны 10% обеспеченности (в нашем случае $h_b = 1,72$ м).

Для расчетов «конечной» стадии глубина на внешнем крае отмели отсчитывается от НПУ. Общий объем размытых пород может быть определен по формуле:

$$Q = E \times K_p \times K_b \times t^b,$$

где Q – объем размытых пород на 1 погонный метр берега, м³; E – средняя суммарная энергия волн за сезон открытой воды, тонн-метры (тм); t – время размыва (число сезонов); b – показатель степени (меньше 1), зависящий от скорости затухания процесса; K_b – коэффициент, учитывающий высоту берега; K_p – коэффициент размываемости пород, зависящий от их литологического состава, м³/тм. E – энергия волн была принята 111038,08. Значение коэффициента размываемости пород K_p было выбрано равным 0,00356 м³/тм (лессовидные суглинки, супеси).

Как уже говорилось выше, берег на рассматриваемом участке можно отнести к абразионному типу, поэтому величину показателя степени b примем за 0,9. Коэффициент K_b , учитывающий высоту берега, в нашем случае равняется 1, так как высота берега на участке выше (либо равняется) 30 м. Таким образом, общий объем размытой породы профиля берега на погонный метр его длины за десятилетний период составлял:

$$Q = E \times K_p \times K_b \times t^b = 111038,08 \times 0,00356 \times 1 \times 10^{0,9} = 3138,64 \text{ м}^3.$$

Для построения прогнозируемого профиля берега в методе Е.Г. Качугина необходимо также определить размеры зоны, в пределах которой происходит размыв. Нормальный подпорный горизонт (НПГ) в нашем случае равен отметке НПУ – 243 м, горизонт сработки – 235 м. Высота рабочей волны равна 0,77 м.

Результаты прогнозирования переработки берега для трех створов участка наблюдений у п. Куртак на 10 лет (1971–1981 гг.) по методам Г.С. Золотарёва и Е.Г. Качугина приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты прогнозирования переработки берега Красноярского водохранилища на участке наблюдений у п. Куртак за 10-летний период (1971 – 1981 гг.) по методам Е.Г. Качугина и Г.С. Золотарёва [3; 4] в сопоставлении с фактическими данными

Створ наблюдений (рис. 3)	Фактическое отступление, м	Прогноз отступления берега на 10 лет, м		Прогнозное отступление на конечную стадию по Г.С. Золотарёву, м
		по Е.Г. Качугину	по Г.С. Золотарёву	
Створ №2	50	101	90	288
Створ №3	80	102	85	234
Створ №4	109	110	125	275
Среднее	79,7	104,3	100,0	265,7

Анализируя результаты проведенного теста на оправдываемость методов прогнозирования переработки берегов Г.С. Золотарёва и Е.Г. Качугина, необходимо отметить следующее.

Оба рассмотренных метода дали завышенные значения отступления берега, что для инженерных методов прогнозирования является свойством скорее положительным, чем отрицательным.

Значения отступления берега, полученные по методу Г.С. Золотарёва, показывают значительный разброс от створа к створу, поскольку сам метод чувствителен к исходной форме конкретного профиля. Эти индивидуальные особенности, в свою очередь, могут быть обусловлены различными случайными причинами, не связанными прямо с деятельностью ветровых волн. С другой стороны, величины отступления берега, спрогнозированные по Е.Г. Качугину, весьма однородны. Этот результат представляется более реалистичным, поскольку створы наблюдений располагаются близко друг к другу (200 м). В таком случае, волновые воздействия для них можно считать идентичными, поскольку состав слагающих склон пород также одинаков. Особо необходимо подчеркнуть, что средние по всем створам значения отступления в обоих методах практически совпадают. Среднее по створам зна-

чение отступления берега, полученное по методам Г.С. Золотарёва и Е.Г. Качугина, отличается от среднего значения фактического отступления на 25 % и 30 % соответственно. Такую точность прогноза в данном случае следует считать вполне удовлетворительной.

Одновременно было произведено сравнение воздействия природных факторов на берег с имеющимися данными натурных наблюдений. Среди внешних факторов, определяющих переработку берегов, наибольшее значение имеют ветровой и уровенный режимы водоема.

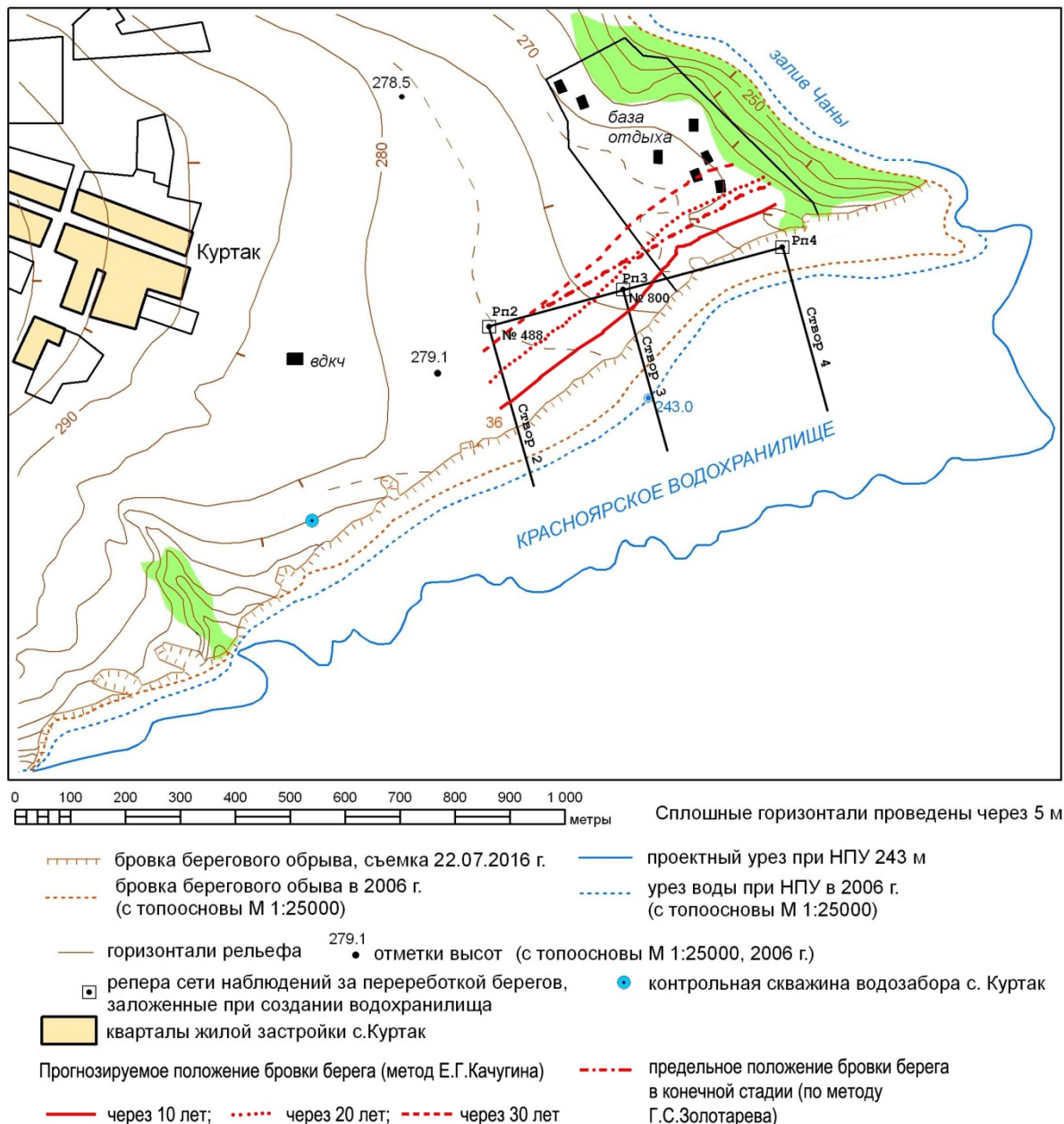


Рис. 6. Результаты прогноза переработки берега на участке у п. Куртак

Для осуществления расчетов будем считать ветровые условия водохранилища неизменными и пользоваться имеющимися данными наблюдений за период 1970–1980 гг. Что касается уровенного режима, то действующими правилами эксплуатации водохранилища предусматривается его заполнение до отметки 242,0 м. Емкость между отметками 242 и 243 м является резервной для аккумуляции дождевых паводков. Наполнение водохранилища до отметки 243,0 м разрешается только после 15 августа. Проведенный анализ данных уровенного режима водохранилища показал, что за последние 19 лет отметка НПУ (243,0 м) ни разу не достигалась. Отметка уровня водохранилища 242 м пре-

вышалась лишь эпизодически (в двух годах из 15) и кратковременно (не более чем на 8–10 дней в году) [8]. Всё сказанное выше означает, что фактически нормальным подпорным уровнем Красноярского водохранилища является отметка 242 м. За исходное принято положение берега 2016 г. Прогнозируемое методом Е.Г. Качугина отступление бровки берега от исходного положения, например, по створу 3 приведено на рис. 6: через 10 лет – 54 м; через 20 лет – 124 м; через 30 лет – 180 м.

Также следует отметить, что к 2016 г. берег на участке еще не достиг своей «конечной стадии» развития (по Г.С. Золотарёву). Его разрушение продолжается. Однако в последнее время заметна тенденция затухания процессов именно переработки берега. Это обусловлено, вероятно, относительно низкими уровнями водохранилища. Урез воды не доходит до подножья абразионного уступа. В настоящее время отступление бровки берега на участке больше связано с гравитационными, а не с абразионными процессами. На наш взгляд, активизация переработки берега возможна лишь при повторяющихся и длительных стояниях уровня на отметках от НПУ до ФПУ, совпадающих с продолжительными штормами.

Также следует отметить, что, хотя в качестве расчетной отметки уровня в прогнозах было принято значение 242 м, в данном случае использовались значения параметров волн и их энергии, полученные для отметки уровня 243 м. Стоит отметить, что при достаточно большой глубине в расчетной точке (50 м) ее изменение на 1 м не приводит к значимым для расчета изменениям параметров волн и, соответственно, их энергии. Различия наблюдаются лишь в третьем знаке дробной части.

Опираясь на состояние береговой линии в 1971 г., на рис. 6 нанесено прогнозируемое предельное положение бровки берега в конечной стадии, полученное по методу Г.С. Золотарёва. Предельная линия положения берега, показанная на этом рисунке, соединяет точки прогнозного положения бровки на створах с наибольшим отступанием (створы 2 и 4).

На основе полученных результатов можно заключить, что на участке у п. Куртак разрушающийся берег водохранилища поглотит территорию базы отдыха (рис. 6). Однако, как уже говорилось, она прекратила свою деятельность. На ближайшие 30 лет берег передвинется вглубь суши еще на 180 м, но и тогда его бровка будет находиться на достаточном (более 100 м) удалении от хозяйственных объектов поселка. Если учитывать современную социально-экономическую ситуацию, этот населенный пункт ещё будет существовать.

Таким образом, процесс переработки берегов на данном участке реальной угрозы для хозяйственной деятельности не представляет.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что на Красноярском водохранилище в береговой зоне пос. Куртак продолжают геоморфологические процессы, преобразующие ее рельеф.

С момента создания Красноярского водохранилища процесс переработки берегов связан с уровнем режимом водохранилища. За последние 19 лет он ни разу не достигал отметки НПУ, отметку 241 м превышал эпизодически и кратковременно. В этих условиях доминирующим стало переформирование берегов водохранилища в результате проявления комплекса экзогенных геологических процессов, прямо не связанных с гидродинамическим воздействием водоема. Конечно, и в настоящий момент на Красноярском водохранилище существуют участки, где переработка берегов продолжается вследствие гидродинамического воздействия, обусловленного главным образом ветровыми волнами; возникают новые оползни, осыпи и другие явления, но масштаб в пространстве и во времени этих процессов существенно меньше, чем в первые годы существования водохранилища. Активизация процессов разрушения берегов может быть вызвана прежде всего форсированным уровнем водохранилища. Наблюдения предшествующих лет на Красноярском водохранилище это подтверждают, поэтому с точки зрения устойчивости берегов необходимо сохранять существующий уровеньный режим водоема.

Участок п. Куртак является классическим примером берега, где преобладают явно выраженные процессы берегопереформирования над волновой деятельностью. По данным натурных наблюдений 1970 – 2016 гг., средняя скорость отступления бровки берега здесь составляла 10-12 м/год. Это связано со свойствами слагающих берег пород, которые обладают высокой пористостью и низкой степенью устойчивости к размоканию, что даже при слабом волнении приводит к интенсивному разрушению, просадкам и значительному отступанию бровки берега.

По результатам прогнозирования участка береговой зоны в районе п. Куртак (по методу Е.Г. Качугина) отступление бровки берега от исходного положения 2016 г. составит: 10 лет – 54 м;

20 лет – 124 м; 30 лет – 180 м. Хорошо видна связь темпов и объемов переработки берега с инженерно-геологическими условиями и мощностью гидродинамических (волновых) воздействий. Следует также отметить, что прогнозируемые значения переработки берегов хорошо согласуются с общими тенденциями его развития на каждом из участков за весь период эксплуатации водохранилищ.

Опираясь на результаты выполненного прогноза, можно заключить, что для рассмотренного участка процесс переработки берегов реальной угрозы для хозяйственной деятельности не несет, по крайней мере, в ближайшей перспективе. Жилые дома п. Куртак находятся в 800–900 м от бровки берега.

Благодарности

Валерий Михайлович Савкин, доктор географических наук, профессор, ушел из жизни 12 марта 2019 г. Валерий Михайлович внес огромный вклад в изучение переформирования берегов водохранилищ, особенно Новосибирского и Красноярского, на которых он работал с момента их создания. Светлой памяти В.М. Савкина посвящается этот скромный труд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. М.: КДУ, 2007. 440 с.
2. Финаров Д.П. Методические рекомендации по прогнозированию переформирования берегов водохранилищ. Л. ВНИИГ им. Веденеева, П 30-75, 1975. 64 с.
3. Золотарёв Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов водохранилищ и оценка их переработки. «Труды лаборатории гидрогеологических проблем». М.: АН СССР, 1955. Т. 7. С. 38-57.
4. Качугин Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ. Всесоюзный институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО). М.: Госгеолтехиздат, 1959. 89 с.
5. Кусковский В.С., Подлипский Ю.И., Савкин В.М., Широков В.М. Формирование берегов Красноярского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1974. 234 с.
6. Савкин В.М. Эколого-географические изменения в бассейнах рек Западной Сибири (при крупномасштабных водохозяйственных мероприятиях). Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 152 с.
7. Вербицкая Ю.С., Ямских Г.Ю. Динамика береговой зоны Красноярского водохранилища в районе поселка Куртак // Вестн. Кемеровского гос. ун-та, 2015. Т. 4, № 1 (61). С. 72-80.
8. Федорова Е.А. Особенности осадконакопления в котловинах водохранилищ равнинного и предгорного типа на примере Новосибирского и Красноярского водохранилищ: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Геленджик, 2016. 24 с.
9. Хабидов А.Ш., Леонтьев И.О., Марусин К.В., Шлычков В.А., Савкин В.М., Кусковский В.С. Управление состоянием берегов водохранилищ. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 239 с.
10. Золотарёв Г.С., Калинин Э.В., Минервин А.В. Учебное пособие по инженерной геологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 383 с.

Поступила в редакцию 07.04.2019

Ямских Галина Юрьевна, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии
ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: yamskikh@mail.ru

Кожуховский Алексей Васильевич, кандидат географических наук, доцент кафедры природообустройства
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
660049, Россия, г. Красноярск, пр. Мира, 90
доцент кафедры географии
ФГБОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: aleksey3312@yandex.ru

Марусин Константин Валерьевич, научный сотрудник
ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской Академии Наук»
(ИВЭП СО РАН)
656038, Россия, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1
E-mail: kat@iwep.ru

Федорова Елена Александровна, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории литодинамики и геологии
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Южное отделение)
353467, Россия, Краснодарский край, г. Геленджик, ул. Просторная, д. 1Г
E-mail: elalfe555@gmail.com

G.Yu. Yamskikh, A.V. Kozhukhovskiy, K.V. Marusin, E.A. Fedorova

FORECAST OF THE REFORMATION OF THE KRASNOYARSK RESERVOIR COASTAL ZONE IN THE KURTAK VILLAGE

DOI: 10.35634/2412-9518-2019-29-2-267-278

The article presents the analysis and prediction of coastal processes at the site of the Krasnoyarsk reservoir in the village of Kurtak where there are the most intensive processes of coastal reshaping. Over the past 50 years, the coast has receded here by an average of 350 m and continues to actively collapse at a speed of 3-5 m per year. Despite the fact that the intensity of coastal processes in this area has significantly decreased (mainly due to the general decrease in the level of the Krasnoyarsk reservoir), the rate of retreat of the shore is still high. However, it can be concluded that for the researched area the coastal reshaping does not pose a real threat to economic activity in the next 30 years. The article tested various methods of forecasting coastal processes, selected the most appropriate for the shores of a similar type. Verification of models was carried out on the basis of data of long-term monitoring of the site under consideration, which gave the chance to compare results of forecasts on different techniques to real retreat of the coast on this site.

Keywords: coastal reformation, exogenous processes, Krasnoyarsk reservoir, Kurtak.

REFERENCES

1. Bondarik G.K., Pendin V.V., Yarg L.A. *Inzhenernaya geodinamika: uchebnik* [Engineering geodynamics: textbook], M.: KDU, 2007, 440 p. (in Russ).
2. Finarov D.P. *Metodicheskiye rekomendatsii po prognozirovaniyu pereformirovaniya beregov vodokhranilishch*. [Methodical recommendations on forecasting of re-formation of the banks of reservoirs]. L. VNIIG im. Vedeneyeva, P 30-75, 1975, 64 p. (in Russ).
3. Zolotarev G.S. *Inzhenerno-geologicheskoye izucheniye beregovykh sklonov vodokhranilishch i otsenka ikh pererabotki in «Trudy laboratorii gidrogeologicheskikh problem»* [Engineering-geological study of coastal slopes of reservoirs and evaluation of their processing – "Works of the laboratory of hydrogeological problems"], M.: AN SSSR, vol. 7, 1955, pp. 38-57 (in Russ).
4. Kachugin E.G. [Recommendations for studying the processing of the banks of reservoirs] in *Vsesoyuznyy institut gidrogeologii i inzhenernoy geologii (VSEGINGEO)*, M: Gosgeoltekhizdat, 1959, 89 p. (in Russ).
5. Kuskovskiy V.S., Podlipskiy Yu.I., Savkin V.M., Shirokov V.M. *Formirovaniye beregov Krasnoyarskogo vodokhranilishcha* [Formation of the shores of the Krasnoyarsk reservoir], Novosibirsk: Nauka, 1974, 234 p. (in Russ).
6. Savkin V.M. *Ekologo-geograficheskiye izmeneniya v basseynakh rek Zapadnoy Sibiri (pri krupnomasshtabnykh vodokhozyaystvennykh meropriyatnykh)* [Ecological and geographical changes in the river basins of Western Siberia (with large-scale water management activities)], Novosibirsk: Nauka. Sibirskaya izdatelskaya firma RAN, 2000, 152 p. (in Russ).
7. Verbitskaya Yu.S., Yamskikh G.Yu. [Dynamics of the coastal zone of the Krasnoyarsk reservoir near the village Kurtak] in *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 1(61), vol.4, pp. 72-80 (in Russ).
8. Fedorova E. A. [Features of sedimentation in the basins of reservoirs of plain and foothill type on the example of Novosibirsk and Krasnoyarsk reservoirs], Abstract of diss. Cand. geogr. sci., Gelendzhik, 2016, 24 p. (in Russ).
9. Habidov A.SH., Leont'ev I.O., Marusin K.V., SHlychkov V.A., Savkin V.M., Kuskovskiy V.S *Upravlenie sostoyaniem beregov vodokhranilishch* [Management of the banks state of reservoirs], Novosibirsk: izd-vo SO RAN, 2009, 239 p. (in Russ).
10. Zolotarev G.S., Kalinin E.V., Minervin A.V. *Uchebnoye posobiye po inzhenernoy geologii* [Textbook on engineering Geology M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1970, 383 p. (in Russ).

Received 07.04.2019

Yamskikh G.Yu., Doctor of Geography, Professor, Head of the Geography Department
Siberian Federal University
Svobodny pr., 79, Krasnoyarsk, Russia, 660041
E-mail: yamskikh@mail.ru

Kozhukhovskiy A.V., Candidate of Geography, Associate Professor at Environmental engineering department
Krasnoyarsk State Agrarian University
Prosp. Mira, 90, Krasnoyarsk, Russia, 660049
Associate Professor of the Geography Department
Siberian Federal University
Svobodny pr., 79, Krasnoyarsk, Russia, 660041
E-mail: aleksey3312@yandex.ru

Marusin K.V., researcher
Institute for Water & Environmental Problems Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Molodezhnaya st., 1, Barnaul, Russia, 656038
E-mail: kat@iwep.ru

Fedorova E.A., Candidate of Geography, researcher
P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (The Southern Branch)
Golubaya bukhta, Gelendjik-7, Krasnodarskiy kray, Russia, 353470
E-mail: elalfe555@gmail.com