



ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР

Научная статья

УДК 627.222.5:528.8.04

EDN: MDZVJW

DOI: 10.21285/2686-9993-2025-48-2-249-259



Закономерности развития процесса переработки берегов равнинных водохранилищ

М.В. Степанова^{a,✉}, В.Н. Экзарьян^b

^{a,b}Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Резюме. Проблема активизации переработки берегов водохранилищ равнинного типа на сегодняшний день является актуальной, поскольку ежегодно в опасную зону попадают населенные пункты, сельскохозяйственные угодья, лесные массивы и промышленные предприятия. Современная ситуация в области изучения переработки берегов водохранилищ требует усовершенствования существующих и создания новых методов. Целью выполненного исследования являлось выявление наиболее значимых факторов и условий, определяющих интенсивность процесса переработки берегов водохранилищ. В процессе работы были собраны и проанализированы данные предыдущих исследований, проведены натурные наблюдения берегов Волгоградского водохранилища, опрос местного населения на предмет проявления и степени активности процесса переработки берегов, инженерно-геологическое районирование прибрежной территории, применены методы расчетов суммарной энергии волнения Е.Г. Качугина и Н.Е. Кондратьева. Для обработки полученных материалов использовались методы математической статистики. Предметом исследования являлся процесс переработки берегов водохранилищ, объектом – прибрежная зона Волгоградского водохранилища. Были определены основные закономерности развития переработки берегов Волгоградского водохранилища и конкретизированы факторы, влияющие на этот процесс (факторы-условия, факторы-процессы). Наиболее простые временные закономерности процесса переработки берегов представлены в виде кинематической модели. По результатам расчетов, базирующихся на применении корреляционного анализа, наибольшее влияние на процесс переработки берегов Волгоградского водохранилища оказали энергия волн, колебание уровня воды, показатель размываемости горных пород, слагающих береговой склон. Полученные в ходе исследования данные будут использованы для дальнейшего моделирования и прогнозирования процесса переработки берегов Волгоградского водохранилища.

Ключевые слова: переработка берегов водохранилищ, закономерности развития процесса, факторы-условия, факторы-процессы, методы математической статистики

Для цитирования: Степанова М.В., Экзарьян В.Н. Закономерности развития процесса переработки берегов равнинных водохранилищ // Науки о Земле и недропользование. 2025. Т. 48. № 2. С. 249–259. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-2-249-259>. EDN: MDZVJW.

APPLIED MINING AND PETROLEUM FIELD GEOLOGY, GEOPHYSICS, MINE SURVEYING AND SUBSOIL GEOMETRY

Original article

Development regularities of plain reservoir shore marginal erosion

Maria V. Stepanova^{a,✉}, Vladimir N. Ekzarian^b

^{a,b}Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Abstract. The problem of intensified marginal erosion of lowland reservoir shores is relevant today, since settlements, agricultural lands, forests and industrial enterprises fall into the danger zone every year. The current situation in the field of studying the marginal erosion of reservoir shores requires to improve the existing methods and to create new ones. The purpose of the study performed is to identify the most significant factors and conditions that determine the intensity of the marginal erosion of reservoir shores. The research involves collection and analysis of data from previous studies, field observations of the Volgograd reservoir shores, a survey of the local population regarding the manifestation and activity degree of marginal erosion, as well as engineering and geological zoning of the coastal area. E.G. Kachugin and N.E. Kondratiev's methods for calculating the total energy of waves are applied. The obtained results have been processed using the methods of mathematical statistics. The subject of the study is marginal erosion of the reservoir shores, the



object of the study is the coastal area of the Volgograd reservoir. The main development patterns of marginal erosion of the Volgograd reservoir shores have been identified and the factors influencing this process (condition factors, process factors) have been specified. The simplest temporal patterns of the marginal erosion process are presented in the form of a kinematic model. According to the calculation results, which are based on the correlation analysis, the wave energy, water level fluctuation, and the erosion index of rocks composing the coastal slope had the greatest impact on the process of marginal erosion of Volgograd reservoir shores. The data obtained during the study will be used for further modeling and forecasting of the marginal erosion process of the Volgograd reservoir shores.

Keywords: marginal erosion of reservoir shores, process development regularities, condition factors, process factors, methods of mathematical statistics

For citation: Stepanova M.V., Ekzaryan V.N. Development regularities of plain reservoir shore marginal erosion. *Earth sciences and subsoil use*. 2025;48(2):249-259. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2025-48-2-249-259>. EDN: MDZVJW.

Введение

Ежегодно в связи с активным проявлением процесса переработки берегов увеличивается объем так называемых потерянных земель вблизи береговой зоны крупных водохранилищ. Именно поэтому детальное изучение и моделирование данного процесса, а также создание более совершенных методов прогноза являются в настоящее время актуальными задачами инженерной геологии [1, 2], что подтверждается многочисленными исследованиями [3–7]. Н.В. Коломенский под переработкой берегов водохранилищ понимает процесс отступления берегов искусственных водоемов вглубь суши вследствие волнового воздействия¹. Перед авторами настоящей статьи стояла задача определить закономерности процесса переработки берегов водохранилищ для оптимизации ведения мониторинговых наблюдений и выбора методов моделирования и прогнозирования процесса.

Переработка берегов водохранилищ является полифакторным, неоднородным в пространстве и нестационарным во времени процессом, который характеризуется кумулятивным эффектом запаздывания по отношению к воздействию факторов, что особенно ощутимо внутри годового цикла. Самым важным и принципиальным результатом изучения переработки берегов водохранилищ являлось уяснение стохастической природы процесса.

Основы изучения факторов и процесса переработки берегов водохранилищ были заложены в конце 1920-х – начале 1930-х гг. академиком Ф.П. Саваренским [8]. С середины 1930-х гг. в связи с интенсивным строительством гидроэлектростанций и созданием водохранилищ были развернуты широкие исследования факторов и процесса переработ-

ки берегов водохранилищ, начата разработка количественных методов прогноза и управления этим процессом. Особенно интенсивными и результативными были исследования в 1950-х и 1970-х гг.

К сожалению, с 1990-х гг. по настоящее время ведутся бессистемные режимные наблюдения за процессом переработки берегов водохранилищ Волжского каскада [9]. Отсутствие данных о проявлении и активности исследуемого процесса в ближайшем будущем может привести к негативным последствиям в отношении состояния окружающей природной среды прибрежных территорий.

Материалы и методы исследования

Изучение процесса переработки берегов проводилось в пределах Волгоградского водохранилища. Основной целью являлось определение закономерностей развития процесса переработки берегов водохранилищ. Для достижения поставленной цели были собраны и проанализированы архивные данные режимных (мониторинговых) наблюдений, выполнено инженерно-геологическое районирование прибрежной территории Волгоградского водохранилища и изучен комплекс факторов, обуславливающих активизацию исследуемого процесса [10].

Системный подход при изучении переработки берегов позволил выявить основные факторы-процессы и факторы-условия, определяющие степень активности процесса. В ходе работы было выявлено, что функционирование и эволюция водохранилищ, а также развитие процесса переработки берегов определяются регионально-геологическими, зонально-климатическими и техногенными факторами [11, 12] (рис. 1).

¹ Коломенский Н.В. Инженерная геология: учебник. М.: Госгеолтехиздат, 1956. Ч. 2. 320 с.

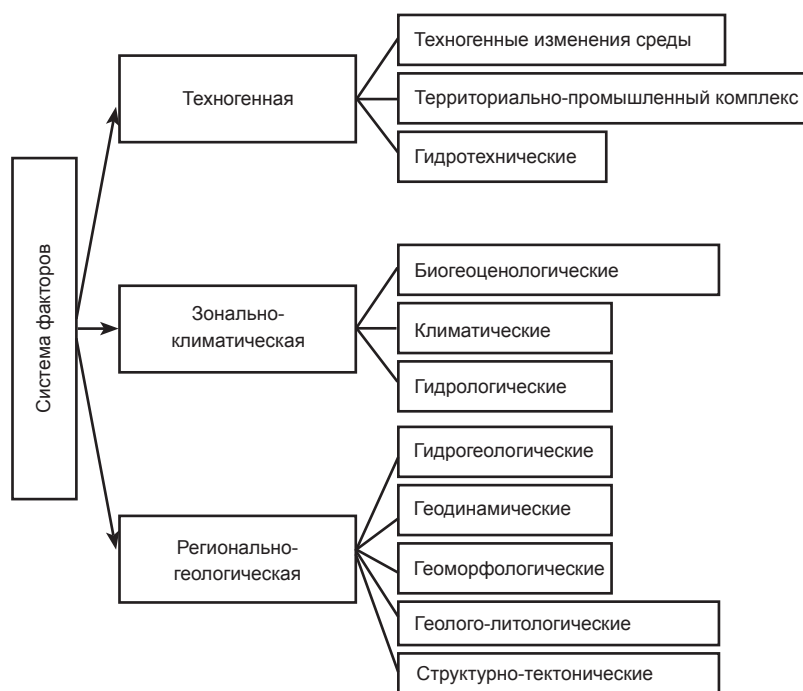


Рис. 1. Классификационная схема системы факторов, определяющих степень активности процесса переработки берегов [12]

Fig. 1. Classification diagram of the system of factors determining the activity degree of marginal erosion [12]

Регионально-геологические условия водохранилища обусловлены принадлежностью к тектоническому элементу земной коры – платформе или геосинклинали, к определенной геологической формации и соответственно литологическим условиям ложа и берегов водохранилища, а также к геоморфологическим, гидрогеологическим, эндо- и экзогеодинамическим условиям региона. Так, например, является очевидным различие в интенсивности процесса переработки берегов платформенных (равнинных) и орогенных (горных) водохранилищ, берега которых сложены характерными парагенетическими комплексами магматических, метаморфических и осадочных пород, определяющих наряду с неотектоникой и современной геодинамикой геоморфологические особенности берегов водохранилища.

Зонально-климатическая характеристика водохранилища определяет его гидрологические и волноэнергетические особенности, климатический режим территории и характер развитых почв и биогеоценозов. Общеизвестным является тот факт, что большое значение для процесса переработки берегов имеют особенности уровня, гидродинамического, теплового, гидрохимического и биологического режимов водохранилища.

Техногенные условия характеризуются прежде всего целевым назначением водохранилища и структурой его водохозяйственного комплекса. Наряду с зонально-климатическими условиями контролируют его уровень режим (выбор нормального подпорного уровня, период регулирования и т. д.) и, следовательно, интенсивность процесса переработки берегов и инженерно-геодинамические условия в целом. В связи с проблемой комплексного использования водохранилищ и защиты геологической среды техногенный фактор как региональный механизм управления всем геодинамическим режимом в зоне влияния водохранилища становится особенно важным.

Поскольку переработка берегов водохранилищ представляет собой сложный в пространственно-временном и генетическом (полифакторном) аспектах инженерно-геологический процесс, закономерности развития процесса переработки берегов водохранилищ следует рассматривать в трех главных измерениях: пространственном, временном, генетическом, а также в их различных сочетаниях. Наиболее простые пространственно-временные закономерности процесса переработки берегов могут быть представлены в виде кинематической модели [12, 13]



$$y = \int (t),$$

где $y = (y_1, \dots, y_n)$ – вектор характеристик процесса; t – время; $\int$ – некоторая функция.

Основными характеристиками процесса переработки берегов водохранилищ являются: y_1 – величина переработки берега, или величина линейного отступления бровки берегового склона (клифа), м; y_2 – высота клифа, м; y_3 – объем размытых пород, м³; y_4 – мощность наносов на прибрежной отмели, м.

Фактор переработки берегов водохранилищ – это условие или процесс, который непосредственно или косвенно определяет возникновения и степень активности берегообрушения. По виду влияния факторы развития процесса переработки берегов водохранилищ условно можно разделить на факторы-условия и факторы-процессы [14, 15].

К факторам-условиям относятся геолого-литологическое строение берегов, геодинамические условия, морфология прибрежной части берегового склона (высота берегового склона (клифа), ширина надводной и подводной части отмели, крутизна отмели и др.). Факторы-процессы могут быть гидрогенными (волновой режим, колебание уровня воды в водохранилище, течения), климатическими (ветровой режим, режим атмосферных осадков, ледовый режим), прочие (судовое волнение, хозяйственная деятельность человека, растительность и др.). Факторы-процессы взаимодействуют друг с другом и по-разному влияют на переработку берегов водохранилища.

Процесс переработки берегов водохранилищ протекает в две стадии: неустановившегося и квазиустановившегося режима. На первой стадии размыв осуществляется в основном за счет ударно-механического, динамического воздействия волн. На второй стадии берегообрушение происходит за счет воздействия комплекса факторов и в значительной степени определяется геологическим строением берегового склона и сформированной надводной и подводной части отмели.

Энергия волн является основным фактором-процессом, определяющим интенсивность переработки берегов. Энергия волн представляет собой функцию от высоты волн, повторяемости волн и длины разгона волны. Для расчета энергии волнения используется метод Н.Е. Кондратьева [16].

Режим уровня определяется как естественными (водный баланс), так и искусственными причинами (попуски воды или форсирование уровня). Колебание уровня воды водохранилища в основном зависит от графика работы гидроэлектростанции и судоходства.

Результаты исследования и их обсуждение

Основными факторами-условиями, определяющими активность переработки берегов Волгоградского водохранилища, являются геолого-литологическое строение, высота береговых склонов, ширина надводной и подводной части отмели (чем больше ширина надводной и подводной части отмели, тем величина переработки берега меньше). На левом берегу Волгоградского водохранилища процесс переработки берегов проявляется наиболее активно, в отличие от правого берега (рис. 2, 3). В первую очередь это связано с геолого-литологическим строением: правый берег сложен полускальными коренными породами, а левый – песчано-глинистыми отложениями пойменных террас р. Волги [17].

По методу Е.Г. Качугина [18] были определены коэффициенты (показатели) размываемости пород. Районы распространения четвертичных отложений, занимающие левобережье Волгоградского водохранилища, обладают весьма низкой сопротивляемостью размыву. Правобережная территория представлена отложениями нижнего и среднего палеогена, нижнего и верхнего мела (это преимущественно вторая надпойменная терраса р. Волги (хвалынская), цоколь которой сложен довольно устойчивыми к размыву коренными породами) [19]. В ходе исследования рассмотрены две группы закономерностей процесса переработки берегов Волгоградского водохранилища:

1) изучение тесноты связи величины переработки берега с важнейшими факторами переработки;

2) оценка информативности гидрологических и геоморфологических факторов переработки берегов на участках с различным геолого-литологическим строением.

В расчеты входили характеристики процесса переработки берегов Волгоградского водохранилища и факторов, определяющих его интенсивность (величина линейного отступления берегового уступа, м; показатель размываемости горных пород, слагающих берега, м³/Дж; суммарная энергия волнения, Дж; по-



Рис. 2. Левый берег Волгоградского водохранилища (фотография М.В. Степановой)
Fig. 2. Left shore of the Volgograd reservoir (photo by M.V. Stepanova)



Рис. 3. Правый берег Волгоградского водохранилища (фотография М.В. Степановой)
Fig. 3. Right shore of the Volgograd reservoir (photo by M.V. Stepanova)



вторяемость уровня на нормальный подпорный уровень до 1 м/сут.; крутизна подводной отмели, град.; высота клифа, м; максимальная высота волн, м; повторяемость волн высотой более 0,5 м/сут.; амплитуда колебания уровня, м; угол подхода волн к берегу, град.).

По методу Н.Е. Кондратьева при выбранной высоте волны более 0,5 м/сут. на водохранилищах равнинного типа активизируется процесс переработки берегов и увеличивается энергия волн. Расчеты ветрового волнения включают повторяемость волн высотой более 0,5 м/сут.²

С помощью методов математической статистики рассчитывались коэффициенты парной корреляции, коэффициенты частной корреляции и критерии их значимости. Можно отметить хорошую коррелируемость показателя размываемости пород и высоты абразионного уступа. Отрицательные значения коэффициентов парной корреляции указывают на наличие обратной связи высоты берега и размываемости горных пород. Чем прочнее горные породы (меньше показатель размываемости), слагающие берега водохранилища, тем выше береговой уступ.

Наилучшую коррелируемость (по коэффициентам частной корреляции) при любой ширине отмели с величиной переработки берега проявляют характеристики уровня режима водохранилища. Колебание уровня воды в водохранилище является одним из основных факторов, влияющих на процесс переработки берегов. На его ведущую роль указывают почти все исследователи данного процесса. Роль колебаний уровня воды имеет двойное значение: амплитуда колебаний уровня определяет верхнюю и нижнюю границы возможного берегообрушения (изменяя глубину подводной части отмели, эти колебания увеличивают длительность и интенсивность процесса переработки); колебание уровня воды, создавая попеременное смачивание – высушивание горных пород, слагающих нижнюю часть берегового склона, снижает их сопротивляемость размыву и устойчивость склона в целом.

При рассмотрении указанных закономерностей породы, слагающие берега Волгоградского водохранилища, были разделены на три группы по литологическому составу: песчаные аллювиальные отложения сарпинской, хвалынской и хазарской террас р. Волги (a/Q_3spr , a/Q_3hv , a/Q_3hz); глинистые морские отложения хвалынской террасы р. Волги (mQ_3hv); песча-

ники, опоки, глины палеогенового и мелового возрастов. На рис. 4 показан геолого-литологический профиль, характерный для цокольной хвалынской террасы правобережья.

Для каждого типа пород были подобраны следующие характеристики факторов и процесса переработки берегов, которые можно считать представительными: величина переработки берега, м; энергия волнения, Дж; повторяемость волн высотой более 0,5 м/сут.; повторяемость уровня на нормальный подпорный уровень и выше, сут.; ширина подводной отмели, м.

Анализ полученных коэффициентов частной корреляции и коэффициентов множественной детерминации позволил сделать следующие выводы:

1. В легкоразмываемых песчаных породах (первой группы) наилучшая коррелируемость величины переработки берега за весь период существования водохранилища отмечается с энергией волнения и шириной отмели. Эти два показателя являются наиболее информативными факторами, определяющими активность переработки берегов в указанных условиях. Величина переработки берега в первые годы существования Волгоградского водохранилища составляла 8–15 м/год, в настоящее время процесс развивается квазистационарно (рис. 5) и составляет в среднем 25–30 м за 10 лет с учетом уровня режима.

2. Для второй группы пород наиболее информативными оказались повторяемость волн высотой более 0,5 м и повторяемость уровня на нормальный подпорный уровень и выше. Следовательно, на величину переработки берегов, сложенных глинистыми четвертичными отложениями, основное влияние оказывают так называемые рабочие волны высотой более 0,5 м. Колебания уровня воды в водохранилище приводит к снижению сопротивляемости горных пород размыву и интенсификации волнового воздействия. Н.В. Коломенский отмечал, что на величину и скорость размыва берегов, сложенных хвалынскими глинами, большое влияние оказывают процессы выветривания, которые значительно опережают процесс размыва [20]. Величина переработки берега для второй группы пород первые 10–20 лет составляла не более 7–8 м/год (рис. 6), в последующие годы не превышала 12–15 м (за последние 10 лет).

² Значения для расчетов брались в Росгидромете.

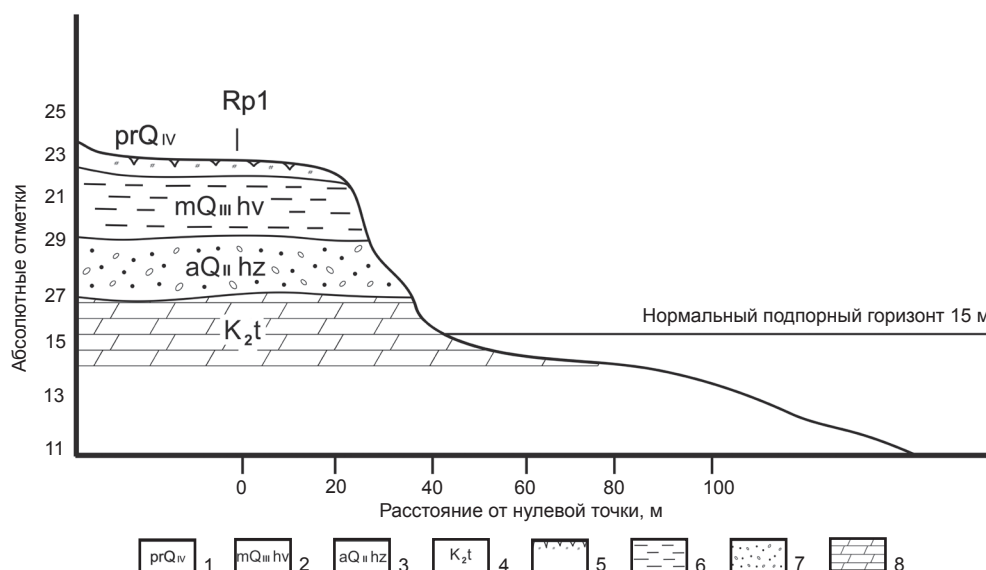


Рис. 4. Поперечный геолого-литологический профиль с. Золотое, которое расположено на правом берегу р. Волги (горизонтальный масштаб: 1:1000, вертикальный масштаб: 1:200):

1–4 – геологические условные обозначения: 1 – покровные отложения отдела четвертичной системы, 2 – морские отложения хвалынского яруса верхнего отдела четвертичной системы, 3 – аллювиальные отложения хазарского яруса среднего отдела четвертичной системы, 4 – туронский ярус верхнего отдела меловой системы; 5–8 – литологические условные обозначения: 5 – почвенно-растительный слой, 6 – глины, 7 – пески с гравием и галькой, 8 – мергели

Fig. 4. Transverse geological and lithological profile of the village of Zolotoye located on the right bank of the Volga River (horizontal scale: 1:1000, vertical scale: 1:200):

1–4 – geological symbols: 1 – cover deposits of the section of the Quaternary system, 2 – marine deposits of the Khvalynsky stage of the upper section of the Quaternary system, 3 – alluvial deposits of the Khazar stage of the middle section of the Quaternary system, 4 – Turonian stage of the upper section of the Cretaceous system; 5–8 – lithological symbols: 5 – soil and vegetation layer, 6 – clays, 7 – sands with gravel and pebbles, 8 – marls

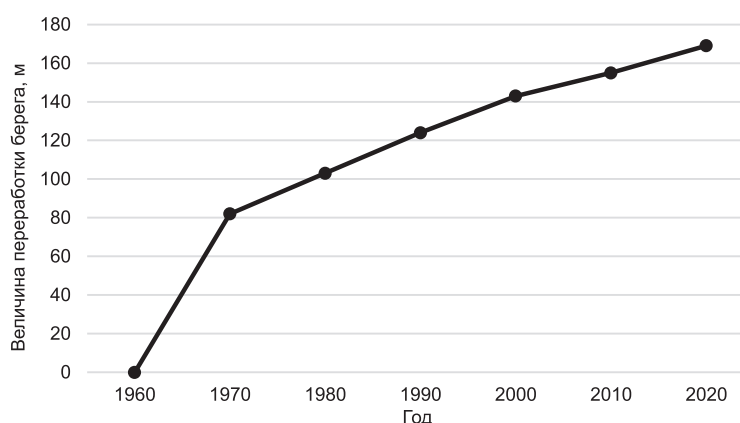


Рис. 5. Обобщенный график изменения величины переработки берега для первой группы пород за весь период существования Волгоградского водохранилища

Fig. 5. Generalized graph of changes in the amount of marginal erosion for the first group of rocks over the entire period of Volgograd reservoir existence

3. На величину переработки берегов, сложенных более прочными породами третьей группы, из исследуемых факторов оказывают влияние ширина отмели, энергия волнения и повторяемость волн высотой более 0,5 м. Так как повторяемость волн высотой более 0,5 м является составной частью энергии волнения, включающей высоту всех волн, то можно счи-

тать, что на величину переработки берегов, сложенных плотными породами, оказывают влияние волны любой высоты. Для третьей группы пород величина переработки берега значительно меньше и в первые 10–20 лет существования водохранилища составляла 4–6 м/год, далее – в среднем 5–8 м за десятилетний период (рис. 7).

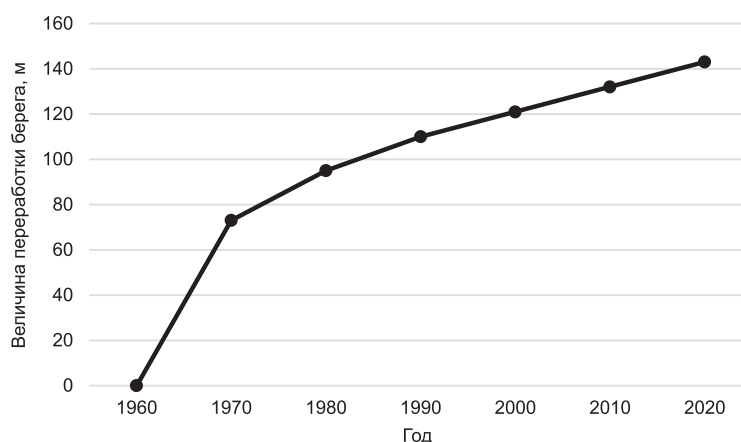


Рис. 6. Обобщенный график изменения величины переработки берега для второй группы пород за весь период существования Волгоградского водохранилища
Fig. 6. Generalized graph of changes in the amount of marginal erosion for the second group of rocks over the entire period of Volgograd reservoir existence

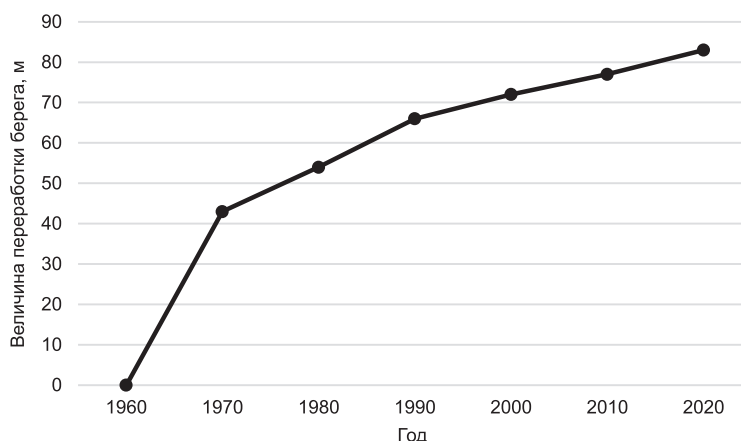


Рис. 7. Обобщенный график изменения величины переработки берега для третьей группы пород за весь период существования Волгоградского водохранилища
Fig. 7. Generalized graph of changes in the amount of marginal erosion for the third group of rocks over the entire period of Volgograd reservoir existence

Выявленные закономерности позволяют оптимизировать проведение мониторинговых наблюдений на существующих длительное время равнинных водохранилищах и лягут в основу выбора прогнозирования изучаемого процесса.

Заключение

Проведенное исследование показало, что при изучении процесса переработки берегов водохранилищ равнинного типа необходимо использовать системный подход. На данный процесс влияет огромное количество факторов: регионально-геологические, зонально-климатические и техногенные. Выявленные закономерности развития процесса переработки берега для отдельных участков Волгоградского водохранилища отражают полифакторность процесса. Подтверждено, что

интенсивность процесса переработки берегов Волгоградского водохранилища зависит от следующих факторов-условий: геолого-литологического строения берега, высоты берегового склона (клифа), ширины надводной и подводной части отмели. Также интенсивность процесса переработки берегов зависит от факторов-процессов: волноэнергетического режима, колебания уровня воды, судового волнения и др. Причем колебание уровня воды является ведущим фактором, влияющим на процесс переработки берегов.

В последующих исследованиях будет разработан алгоритм мониторинговых наблюдений за процессом переработки берегов равнинных водохранилищ, существующих более шестидесяти лет. Полученные данные необходимы для дальнейшего моделирования и прогнозирования процесса переработки берегов.



Список источников

1. Экзарьян В.Н. Перманентное моделирование и прогнозирование экзогенных геологических процессов // Проблемы инженерной геодинамики и экологической геодинамики: материалы Междунар. конф. (г. Москва, 2–3 февраля 2006 г.). М.: Изд-во МГУ, 2006. С. 34–36.
2. Рукавицын В.В., Экзарьян В.Н. Особенности мониторинга геологической среды как обеспечивающей подсистемы национального мониторинга РФ // Разведка и охрана недр. 2023. № 5. С. 55–60. https://doi.org/0.53085/0034-026X_2023_05_55. EDN: IGUSUG.
3. Королев М.В. Мониторинг процесса переработки берегов Угличского водохранилища // Обеспечение качества, безопасности и экономичности строительства. Практика. Проблемы. Перспективы. Инновации: материалы Второй совместной науч.-практ. конф. ГБУ «ЦЭИИС» и ИПРИМ РАН (г. Москва, 12–13 декабря 2019 г.). М.: Изд-во ИПРИМ РАН, 2020. С. 64–77. EDN: KGLNIX.
4. Лагута А.А., Погорелов А.В. Исследование динамики берегов Краснодарского водохранилища методом лидарной съемки // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: материалы XIII Всеросс. науч.-техн. конф. с междунар. участием (г. Владикавказ, 4–8 октября 2023 г.). М.: Изд-во ИИЕТ РАН, 2023. С. 539–546. <https://doi.org/10.26200/GSTOU.2023.93.99.071>. EDN: EORFLY.
5. Смирнов А.И. Типы и переработка (переформирование) берегов Нугушского водохранилища на южном Урале (Республика Башкортостан) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VIII Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 27–30 мая 2021 г.). Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2021. С. 175–180. EDN: YRBSOT.
6. Ткачев А.А., Цыганок О.Р., Хумарашвили Л.Э., Ключенко К.И. Исследование основных причин переработки берегов водохранилищ // Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата: материалы V Междунар. науч.-практ. интернет-конф. (г. Новочеркасск, 22–24 апреля 2024 г.). Новочеркасск: Лик, 2024. С. 168–177. EDN: AGRXWR.
7. Хафизов А.Р., Хазипова А.Ф., Камалетдинова Л.А., Гайсин И.З., Камалетдинов Ф.Ф. Современные процессы переработки берегов Павловского водохранилища на реке Уфе // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 6. С. 70–73. EDN: KTGUZC.
8. Саваренский Ф.П. К вопросу о переработке береговых склонов реки при ее подпоре // Гидрогеология и инженерная геология. 1936. № 1. С. 3–12.
9. Степанова М.В. Особенности переформирования берегов Волгоградского водохранилища // Геоэкологические проблемы техногенного этапа истории земли – 2023: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 12–13 октября 2023 г.). М.: Изд-во НИУ МГСУ, 2023. С. 131–133. EDN: TEXFYC.
10. Степанова М.В., Экзарьян В.Н. Особенности изучения процесса переформирования берегов крупных водохранилищ с применением материалов дистанционного зондирования // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. Т. 66. № 2. С. 60–68. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-60-68>. EDN: KHNTYH.
11. Левкевич В.Е. Оценка влияния берегоформирующих факторов на динамику процесса абразии берегов водохранилищ // Мелиорация. 2018. № 1. С. 37–43. EDN: YAMFVB.
12. Епишин В.К., Экзарьян В.Н. Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. М.: Энергия, 1979. 113 с.
13. Михайлова А.В., Экзарьян В.Н. Математическое моделирование процессов формирования берегов водохранилищ // Новые идеи в науках о Земле: сборник трудов IV Междунар. конф. М., 1999. С. 48–54.
14. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. М.: Недра, 1972. 308 с.
15. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов и значение истории их формирования для оценки устойчивости // Труды Лаборатории гидрогеологических проблем имени Ф.П. Саварского Академии наук СССР. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961. Т. 35.
16. Кондратьев Н.Е. Расчеты ветрового волнения и переформирование берегов водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1953. 110 с.
17. Степанова М.В., Экзарьян В.Н. Инженерно-геологическое районирование прибрежных территорий Волгоградского водохранилища // Молодые – наукам о Земле: материалы XI Междунар. науч. конф. (г. Москва, 03–04 апреля 2024 г.). М.: Изд-во МГРИ, 2024. Т. 4. С. 93–96. EDN: PSZMUM.
18. Качугин Е.Г. Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М.: Наука, 1975. 145 с.
19. Степанова М.В., Экзарьян В.Н. Методы изучения процесса переформирования берегов водохранилищ // LXXVII Герценовские чтения. География: развитие науки и образования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 22–26 апреля 2024 г.). СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2024. С. 175–177. EDN: QPXEBQ.
20. Коломенский Н.В., Оникиенко Т.С., Савченко В.И. [и др.]. Макет карты прогноза переработки берегов существующих водохранилищ // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1974. № 2. С. 112–117.

References

1. Ekzaryan V.N. Permanent modeling and forecasting of exogenous geological processes. In: *Problemy inzhenernoi geodinamiki i ekologicheskoi geodinamiki: materialy Mezhdunar. konf. = Problems of engineering geodynamics and environmental geodynamics: Proceedings of the International conference*. 2–3 February 2006, Moscow. Moscow: Lomonosov Moscow State University; 2006, p. 34–36. (In Russ.).
2. Rukavitsyn V.V., Exaran V.N. Features of monitoring of the geological environment as a supporting subsystem of the national monitoring of the Russian Federation. *Prospect and protection of mineral resources*. 2023;5:55–60. (In Russ.). https://doi.org/10.53085/0034-026X_2023_05_55. EDN: IGUSUG.



3. Korolev M.V. Monitoring marginal erosion of the Uglich reservoir shores. In: *Obespechenie kachestva, bezopasnosti i ekonomichnosti stroitel'stva. Praktika. Problemy. Perspektivy. Innovatsii: materialy Vtoroi sovместnoi nauch.-prakt. konf. GBU "TsEIS" i IPRIM RAN = Ensuring construction quality, safety and cost-effectiveness. Practice. Problems. Prospects. Innovations: Proceedings of the 2nd Joint Scientific and Practical Conference of the State Budgetary Institution "Center for Expertise, Research, and Testing in Construction" and Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences.* 12–13 December 2019, Moscow. Moscow: Institute of Applied Mechanics of Russian Academy of Sciences; 2020, p. 64–77. (In Russ.). EDN: KGLHIX.
4. Laguta A.A., Pogorelov A.V. Studying Krasnodar reservoir shore dynamics using the lidar survey method. In: *Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza: materialy XIII Vseross. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem = Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus: materials of the 13th All-Russian scientific and technical conference with international participation.* 4–8 October 2023, Vladikavkaz. Moscow: S.I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, Russian Academy of Sciences; 2023, p. 539–546. (In Russ.). <https://doi.org/10.26200/GSTOU.2023.93.99.071>. EDN: EORFLY.
5. Smirnov A.I. Types and processing (reforming) of shore Nugush Reservoir in the South Urals (Republic of Bashkortostan). In: *Sovremennye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov: trudy VIII Vseross. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem = Modern problems of reservoirs and their drainage areas: Proceedings of the 8th All-Russian scientific and practical conference with international participation.* 27–30 May 2021, Perm. Perm: Perm State University; 2021, p. 175–180. (In Russ.). EDN: YRBSOT.
6. Tkachev A.A., Tsyganok O.R., Khumarashvili L.E., Klyuchenko K.I. Research of the main reasons for recycling the shore of reservoirs. In: *Melioratsiya kak driver modernizatsii APK v usloviyakh izmeneniya klimata: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. internet-konf. = Land reclamation as a driver of agro-industrial complex modernization under climate change: proceedings of the 5th International scientific and practical Internet conference.* 22–24 April 2024, Novocherkassk. Novocherkassk: Lik; 2024, p. 168–177. (In Russ.). EDN: AGRXWR.
7. Khafizov A.R., Khazipova A.F., Kamaletdinova L.A., Gaysin I.Z., Kamaletdinov F.F. Modern processes for reworking the banks of the Pavlovsky reservoir on the Ufa river. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie.* 2020;6:70–73. (In Russ.). EDN: KTGUZC.
8. Savarenskii F.P. On the issue of marginal erosion of river banks during backwater. *Hydrogeology and engineering geology.* 1936;1:3–12. (In Russ.).
9. Stepanova M.V. Features of Volgograd reservoir shore reformation. In: *Geoekologicheskie problemy tekhnogenogo etapa istorii zemli – 2023: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Geoecological problems of the technogenic stage of the Earth's history – 2023: proceedings of the International scientific and practical conference.* 12–13 October 2023, Moscow. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2023, p. 131–133. (In Russ.). EDN: TEXFYC.
10. Stepanova M.V., Ekzaryan V.N. Study into the reshaping process of large reservoir banks using remote sensing. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration.* 2024;66(2):60–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-2-60-68>. EDN: KHNTYH.
11. Levkevich V.E. Assessing the influence of shore-forming factors on reservoir shore erosion dynamics. *Land reclamation.* 2018;1:37–43. (In Russ.). EDN: YAMFVB.
12. Epishin V.K., Ekzar'yan V.N. *Forecast of the reservoir shore formation process.* Moscow: Energiya; 1979, 113 p. (In Russ.).
13. Mikhailova A.V., Ekzar'yan V.N. Mathematical modeling of reservoir shore formation processes. In: *Novye idei v nauках o Zemle: sbornik trudov IV Mezhdunar. konf. = New ideas in Earth Sciences: proceedings of the 4th International Conference.* Moscow; 1999, p. 48–54. (In Russ.).
14. Emelianova E.P. *Basic patterns of landslide processes.* Moscow: Nedra; 1972, 308 p. (In Russ.).
15. Zolotarev G.S. Engineering and geological study of shore slopes and the significance of their formation history for stability assessment. In: *Proceedings of the F.P. Savarnsky Laboratory of Hydrogeological Problems of the Academy of Sciences of the USSR.* Moscow: Academy of Sciences of the USSR; 1961, vol. 35. (In Russ.).
16. Kondratiev N.E. *Calculations of wind waves and reshaping of reservoir shores.* Leningrad: Gidrometeoizdat; 1953, 110 p. (In Russ.).
17. Stepanova M.V., Ekzarian V.N. Engineering and geological zoning of Volgograd reservoir coastal areas. In: *Molodye – Naukam o Zemle: materialy XI Mezhdunar. nauch. konf. molodykh uchenykh = Young People – to Earth sciences: collected works of the 11th International scientific conference of young scientists.* 3–4 April 2024, Moscow. Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; 2024, vol. 4, p. 93–96. (In Russ.). EDN: PSZMUM.
18. Kachugin E.G. *Geological study of reservoir shore dynamics.* Moscow: Nauka; 1975, 145 p. (In Russ.).
19. Stepanova M.V., Ekzaryan V.N. Methods for studying the process of reforming the banks of reservoirs. In: *LXXVII Gertsenovskie chteniya. Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = 77th Herzen readings. Geography: development of science and education: proceedings of the International scientific and practical conference.* 22–26 April 2024, St. Petersburg. St. Petersburg: Herzen University; 2024, p. 175–177. (In Russ.). EDN: QPXEBQ.
20. Kolomenskii N.V., Onikienko T.S., Savchenko V.I., et al. Forecast map layout for marginal erosion of existing reservoir shores. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Geologiya i razvedka.* 1974;2:112–117. (In Russ.).



Информация об авторах / Information about the authors



Степанова Мария Владимировна,
аспирант,
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе,
г. Москва, Россия,
✉ Stepanova-Mariya2702@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4917-5649>
Maria V. Stepanova,
Postgraduate Student,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
Moscow, Russia,
✉ Stepanova-Mariya2702@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0009-4917-5649>



Экзарьян Владимир Нишанович,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
заведующий кафедрой экологии и природопользования,
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе,
г. Москва, Россия,
vnekzar@rambler.ru
<https://orcid.org/0009-0003-8521-6715>
Vladimir N. Ekzarian,
Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Professor,
Head of the Ecology and Environmental Management Department,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting,
Moscow, Russia,
vnekzar@rambler.ru
<https://orcid.org/0009-0003-8521-6715>

Вклад авторов / Contribution of the authors

М.В. Степанова – курирование данных, формальный анализ, проведение исследования, написание черновика рукописи.

В.Н. Экзарьян – научное руководство, разработка концепции, редактирование рукописи.

Maria V. Stepanova – data curation, formal analysis, investigation, writing – original draft.

Vladimir N. Ekzarian – supervision, conceptualization, writing – editing.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interests.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье / Information about the article

Статья поступила в редакцию 28.12.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2025; принята к публикации 01.04.2025.

The article was submitted 28.12.2024; approved after reviewing 10.03.2025; accepted for publication 01.04.2025.