# ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ МОНИТОРИНГА

DOI: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-33-57 УДК 528.92+574.4

# Мониторинг экосистем морских абразионных берегов Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа

М.В. Крыленко<sup>1)\*</sup>, А.М. Алейникова<sup>2)</sup>, А.П. Андреева<sup>3)</sup>, А.Ю. Богданович<sup>3)</sup>, К.О. Добролюбова<sup>4)</sup>, С.В. Крыленко<sup>3)</sup>, О.Н. Липка<sup>3)</sup>

 $^{1)}$  Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Россия, 353467, г. Геленджик, ул. Просторная, д. 1г

 $^{2)}$ Российский университет дружбы народов Россия, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

<sup>3)</sup>Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля, Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

<sup>4)</sup>Геологический институт Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, пер. Пыжевский, д. 7, стр. 1

Адрес для переписки: \* krylenko@mail.ru

Реферат. Морские абразионные берега Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа являются уникальными динамичными экосистемами. Растительность представлена преимущественно ксерофитами и петрофитами и включает значительное количество редких и эндемичных видов. В данной работе представлены методы и результаты мониторинговых исследований экосистем абразионных берегов между Новороссийской и Геленджикской бухтами. Помимо традиционных методов использовалась адаптированная для условий высокого абразионного берега методика высокоточной съемки наземного рельефа и растительности с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В ходе мониторинговых исследований в 2018-2021 гг., используя литературные материалы и данные дистанционного зондирования, было получено достаточно информации для характеристики разнообразия исследуемых экосистем. Использование БПЛА позволило получить высококачественную цифровую модель рельефа, которая явилась основой для создания ландшафтных и геоботанических карт. К основным процессам, оказывающим воздействие на абразионные берега между Новороссийской и Геленджикской бухтами, были отнесены: экстремальные ливни, береговая абразия в результате штормовых явлений, землетрясения, и в меньшей степени – выветривание и эоловое воздействие. Полученные результаты мониторинга могут использоваться для обоснования необходимости охраны уникальных экосистем Черноморского побережья Кавказа, а также решения широкого круга задач, связанных с практикой охраны природы и рационального природопользования.

**Ключевые слова.** Абразионный берег, экосистемы морских берегов, растительные сообщества, мониторинг, аэрофотосъемка, БПЛА.

# Monitoring of the sea abrasion coast ecosystems at the Black Sea coast of the Northwestern Caucasus

M.V. Krylenko<sup>1)\*</sup>, A.M. Aleinikova<sup>2)</sup>, A.P. Andreeva<sup>3)</sup>, A.Yu. Bogdanovich<sup>3)</sup>, K.O. Dobrolyubova<sup>4)</sup>, S.V. Krylenko<sup>3)</sup>, O.N. Lipka<sup>3)</sup>

1) Southern Branch of the Institute of Oceanology named after P.P. Shirshov Russian Academy of Sciences, 1g; , st. Spacious, 353467, Gelendzhik, Russian Federation

<sup>2)</sup> Peoples' Friendship University of Russia 6, st. Miklukho-Maklaya, 117198, Moscow, Russian Federation

<sup>3)</sup> Yu. A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, 20B, st. Glebovskaya, 107258, Moscow, Russian Federation

<sup>4)</sup> Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 7, bldg. 1, per. Pyzhevsky, 119017, Moscow, Russian Federation

Correspondence address: \*krylenko@mail.ru

Abstract. The sea abrasion shores at the Northwest Caucasus Black Sea coast are unique dynamic ecosystems. The vegetation is represented mainly by xerophytes and petrophytes, including a significant number of rare and endemic species. This paper presents the methods and results of ecosystem monitoring studies of abrasion shores between Novorossiysk and Gelendzhik bays. A method of high-precision surveying was used to discover relief and vegetation by unmanned aerial vehicles (UAVs) in addition to traditional methods, adapted to the conditions of the high abrasion coast. During field studies in 2018-2021 and using literature materials and remote sensing data analysis the sufficient information was obtained to describe the ecosystem diversity. The UAV was used to produce a highquality digital elevation model, which became the basis for creating landscape and geobotanical maps. The main observed processes affecting the sea shore ecosystems between Novorossiysk and Gelendzhik bays are: extreme rainfall, coastal abrasion as a result of storm events, earthquake, and to a lesser extent – geologic weathering and aeolian impact. The obtained monitoring results can be used to substantiate the necessity to protect the unique Caucasus Black Sea coast ecosystems, as well as to solve a wide range of problems related to conservation practice and sustainable land use management.

**Keywords.** Abrasion coast, sea coast ecosystems, plant communities, monitoring, aerial survey, UAV.

#### Введение

Морские абразионные берега Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа являются уникальными динамичными системами, которые сформировались под воздействием совокупности специфических факторов среды: неоднородность залегания подстилающих пород и их активное разрушение

под воздействием внешних факторов; средиземноморский тип климата с характерным набором ежегодно проявляющихся опасных гидрометеорологических явлений; с третичного времени регион неоднократно являлся рефугиумом, благодаря чему создавались условия для сохранения реликтовых и эндемичных видов.

Растительность Черноморских абразионных берегов носит преимущественно ксерофитный и петрофитный характер, достаточно разнообразна и включает значительное количество редких и эндемичных видов. Наряду с сообществами прибрежных низкогорий, растительность береговых обрывов представляет крайний восточный вариант средиземноморского типа на границе его распространения в Евразии. Район исследования относится к Крымско-Новороссийской флористической провинции, представляющей обедненную средиземноморскую флору, а в пределах этой провинции – более бедную во флористическом отношении Новороссийскую часть по сравнению с более богатой Крымской. Количество работ, посвященных изучению растительных сообществ абразионных морских берегов, сравнительно невелико. На многих тематических картах береговой обрыв (клиф) часто выделяется как «скальное обнажение, лишенное растительности». Однако несмотря на разреженность растительного покрова, на клифе произрастают специфические растительные сообщества, нехарактерные для других биотопов. Общая площадь биотопов морских абразионных берегов сравнительно невелика, т.е. экосистемы изначально ограничены в своем распространении, не имеют потенциала для увеличения площади и требуют уделения особого внимания для сохранения их уникального видового разнообразия.

Исследование экосистем морских абразионных берегов, особенностей их динамики, представляет особый интерес с точки зрения сохранения биоразнообразия в условиях активно развивающейся туристической зоны. Проведение мониторинговых исследований абразионных берегов важно для предотвращения и снижения рисков, связанных с распространением и развитием склоновых процессов под воздействием климатических изменений (с учетом нарастающей экстремальности климата) и прямых антропогенных нарушений. Отчасти по флористическому составу и структуре растительного сообщества можно судить о динамичности конкретного участка побережья, а также возрасте последних нарушений.

Целью данной работы является представление методов и результатов мониторинговых исследований экосистем морских абразионных берегов Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа между Новороссийской и Геленджикской бухтами (рис. 1).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: описание методики проведения полевых мониторинговых исследований выбранного участка берега; анализ основных факторов воздействия на динамику экосистем; определение богатства флоры и растительности экосистем; типизация природных комплексов на основе мониторинговых исследований с использованием дополнительных данных; создание ландшафтных и геоботанических карт для репрезентативных участков побережья.

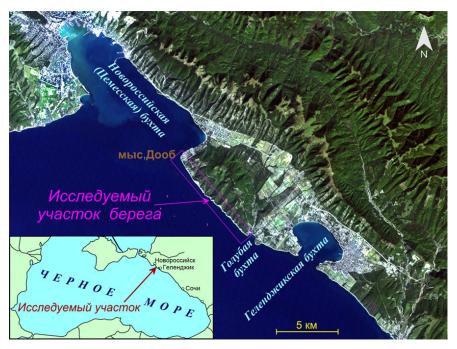


Рисунок 1. Район мониторинговых исследований

Авторская разработка с использованием данных из открытых источников (https://earthexplorer.usgs.gov)

Figure 1. The monitoring research area

The original development based on open sources (https://earthexplorer.usgs.gov)

#### Объекты, материалы и методы

#### Краткая характеристика района исследований

Конфигурация исследуемого участка берега представляет собой чередование выступов абразионных участков и бухт. Крутизна клифов 30-45°, но представлены также участки, крутизной от 60 до 90°, высота береговых обрывов до 100 м (Крыленко и др., 2021). Конфигурацию берега осложняют глубокие узкие долины временных водотоков, носящие местное название «щели» (Krylenko, 2009).

В геологическом строении берегов преобладают карбонатные флишевые фации верхнего Мелового периода, представленные переслоением мергелей, песчаника и аргиллита (Косьян и др., 2013). Характерной особенностью пород является их малая прочность и подверженность истиранию, что способствует интенсивному развитию абразионных и склоновых процессов, иницируемых эндогенными и экзогенными процессами.

Климат средиземноморского типа, достаточно мягкий, снежный покров отсутствует. В то же время ежегодно отмечаются опасные гидрометеорологические явления: волны жары, экстремальные осадки, сильные ветра северовосточного направления (Новороссийская бора), а также южных румбов, вызывающие шторма, усиливающие абразионные процессы.

В зависимости от крутизны и скорости денудации, абразионные берега могут быть лишены растительности полностью, характеризоваться с разреженным травяным покровом, или же на них формируется сосняк фригановый с сосной пицундской (*Pinus pityusa*). Сосны низкие, 8 м высотой, и диаметром 25-40 см, сомкнутость не превышает 0.3 баллов. В подлеске наиболее характерны: жасмин кустарниковый (*Jasminum fruticans*), скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria*), жимолость этрусская (*Lonicera etrusca*) и сумах кожевенный (*Rhus coriaria*), большинство из которых является представителями средиземноморской или древнесредиземноморской флоры. Сомкнутость травяного покрова, при крутизне 60°, составляет около 20%, причем наиболее высоко обилие жабрицы понтийской (*Seseli ponticum*). Вдоль пляжей в нижней части склонов встречаются галофиты, а в местах разгрузки грунтовых вод можно обнаружить виды-мезофиты и даже гигрофиты (Липка, 2006).

Несмотря на низкую сомкнутость растительного покрова и экстремальные условия произрастания, в экосистемах морских абразионных присутствуют редкие, занесенные в Красные книги, а также эндемичные и реликтовые виды, требующие изучения и сохранения (Зернов, 2002; Голуб и др., 2009; Лукиных, Крыленко, 2020).

## Методика мониторинга

Методика мониторинга включала предполевой, полевой и камеральный этапы. В предполевой период проводился сбор и анализ литературных и картографических материалов геологических, геоморфологических, геоботанических и ландшафтных исследований береговой зоны. Для более полного представления о флоре исследуемого района использовались гербарные материалы географического и биологического факультетов МГУ и Института географии, геологии, туризма и сервиса Кубанского государственного университета (ИГГТС КубГУ).

### Полевые мониторинговые исследования

Маршрутные полевые исследования велись с 2018 по 2021 гг. В качестве основного метода применялось составление полных геоботанических описаний, которые одновременно аккумулировали необходимые данные для характеристики ландшафтных фаций и экосистем. Специфика исследуемой территории (крутизна склонов, быстрая смена морфологических элементов склона и растительных сообществ с высотой, а иногда и по горизонтальной протяженности) затрудняла использование стандартных геоботанических площадок описаний травянистых растительных сообществ (10×10 м). В качестве основного метода проведения мониторинга экосистем были выбраны трансекты, шириной 10 м, которые закладывались от уреза воды до бровки берегового склона. Фактически они представляли собой последовательность от трех до семи полных геоботанических описаний по всей протяженности склона. При возможности делались также стандартные полные геоботанические описания для уточнения и детализации информации о флоре и структуре растительных сообществ.

Для каждой из трансект фиксировались данные о крутизне склона, его экспозиции, высоте и слагающих горных породах, указывались угол залегания флишевых пород, особенности мезо- и микрорельефа, размер и тип обломочных отложений, видовой состав растительных сообществ, их общее проективное покрытие (в % от площади площадки) и по каждому виду. Для кустарников отмечалась высота растений, а при наличии древесных пород — высота подроста и сомкнутость крон. На геоботанических площадках проводились повторные описания в разные фазы вегетационного сезона (при возможности — повторно на следующий год), для уточнения видового состава растительных сообществ, т.к. для средиземноморского типа растительности характерно наличие доминантов из числа однолетних травянистых растений абразионных берегов, а также наличия ряда видов, обнаружить и определить которые можно лишь в узком временном диапазоне развития.

В процессе полевых работ использовалась GPS-привязка данных с последующей первичной обработкой в программе OziExplorer и нанесением на космические снимки. Кроме полевых описаний проводилось фотографирование исследуемых площадок, трансект, отдельных растений, а также сбор гербарных образцов.

Всего в результате мониторинговых исследований было заложено 123 трансекты и дополнительно для более 200 точек сделаны полные геоботанические описания (рис. 2).



**Рисунок 2.** Расположение точек сбора данных Авторская разработка с использованием данных из открытых источников (https://earth.goo-gle.com/web/)

Figure 2. Data collection locations
The original development based on open sources (https://earth.google.com/web/)

# Мониторинг с использованием данных дистанционного зондирования

В рамках исследования активно применялись дистанционные методы: были использованы многоканальные космические снимки спутников Sentinel,

Landsat и Pleiades в мультиспектральном диапазоне, а также проведена аэрофотосъемка побережья, с использованием возможностей БПЛА «Fantom 4Pro» с установленной камерой «FC 6310». Объекты исследования отличаются значительной крутизной и высотой, что накладывает ограничения в проведении полевых исследований, поэтому БПЛА является необходимым инструментом мониторинга труднодоступных участков берега, где определение видового состава растительных сообществ без дополнительного оборудования оказывается затруднительным.

Современные профессиональные БПЛА обладают эффективными системами стабилизации, благодаря которым можно удерживать летающий аппарат в точке с погрешностью 0.5 м по высоте и 1 м по горизонтали. Камера БПЛА имеет механический затвор и матрицу, способную выполнять 14 фотографий в секунду в режиме серийной съемки. Съемка видео высокого разрешения – 4К со скоростью 60 кадров/с – значительно повышает информативность полученных данных. Основные характеристики камеры приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные характеристики камеры «FC 6310» **Table 1.** Main characteristics of FC6310 camera

Матрица	Объектив	ISO	Скорость затвора	Макс. размер изображения
1" CMOS. 20 MII.	Угол обзора 84°, 24 мм, f/2.8 - f/11, автофокус 1 м - ∞.	Режим авто 100 - 3200, ручной 100 - 12800.	Механического 8 – 1/2000 с, электронного 8 – 1/8000 с.	Соотн. сторон 3:2 5472 × 3648, соотн. сторон 4:3 4864 × 3648, соотн. сторон 16:9 5472 × 3078.

Перед началом аэрофотосъемки для пространственной привязки по всей площади исследуемых участков были размещены наземные реперы, привязка которых осуществлялась с помощью оборудования спутниковой системы позиционирования фирмы Leica Geosystems (Крыленко, 2013). Место их установки выбиралось в зависимости от особенностей рельефа, конфигурации участков и планируемых траекторий полетов БПЛА. Съемка выполнялась преимущественно в ручном режиме. Нередко во время работы на оползневых и обвально-осыпных участках берега использовался автоматический режим, при котором полет осуществлялся по заранее разработанному маршруту.

При подготовке маршрута полета БПЛА учитывались его протяженность, удаленность аппарата от оператора, обеспечение 30% поперечного и 60% продольного перекрытия, прогнозные направление и сила ветра, а также морфометрические особенности объекта исследования. Для устранения «мертвых зон» вдоль склонов использовались как плановая, так и перспективная (с наклоном оптической оси) аэрофотосъемка, которая позволяет эффективно распознавать объекты местности и применяется при изучении берегов со сложным рельефом (рис. 3) (Крыленко, Крыленко, 2020).

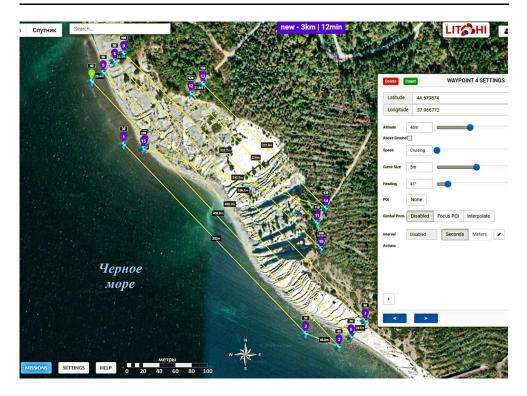


**Рисунок 3.** Снимки при вертикальном (вверху) и наклонном (внизу) положении оптической оси камеры

Figure 3. Images with vertical (above) and inclined (below) camera axis

Скорость полета между контрольными точками рассчитывалась в зависимости от высоты полета и необходимой для последующей фотограмметрической обработки величины продольного перекрытия. Точное выполнение заданных параметров полета осуществлялось с помощью программного обеспечения «Litchi» (рис. 4). Автоматическая фотосъемка при выполнении программируемых полетов велась через 3 с.

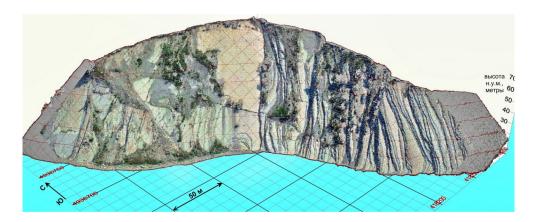
Для их обработки полученных фотоснимков использовалось программное обеспечение Agisoft PhotoScan, которое позволяет создавать высококачественные 3D модели объектов на основе цифровых фотографий методами цифровой фотограмметрии (рис. 5). Подобная технология была успешно применена авторами при изучении рельефа и ландшафтно-морфологической структуры Анапской пересыпи и косы Долгая. Результаты исследований, методические основы и опыт работы с БПЛА подробно представлены в более ранних работах авторов (Крыленко, Руднев, 2018; Крыленко, Крыленко, 2018, 2020).



**Рисунок 4.** Подготовка маршрута полета с помощью программного обеспечения «Litchi» *Авторская разработка и использованием данных из открытых источников (https://earth.google.com/web/)* 

**Figure 4.** Flight track preparation by Litchi software

The original development based on open sources (https://earth.google.com/web/)



**Рисунок 5.** Пример визуализации цифровой модели рельефа для участка берегового обрыва на основе аэрофотосъемки, план которой представлен на рис. 4 *Авторская разработка* 

**Figure 5.** A coastal cliff digital terrain model based on aerial survey under the plan at Fig. 4 *The original development* 

### Камеральные исследования

На камеральном этапе полученные данные об отдельных компонентах экосистем (рельефе, геоморфоструктуре, растительности береговых склонов) уточнялись и обрабатывались с использованием стандартных методик. Материалы систематизировались, составлялись базы данных, включающие описания, фотографические материалы, гербарные образцы, соотнесенные друг с другом с помощью методов геопривязки и дистанционного зондирования.

Для обработки, систематизации и визуализации полученных пространственных данных применялись инструменты программного комплекса ArcGIS. Построенная на основе данных аэрофотосъемки цифровая модель рельефа (ЦМР) позволила внести корректировки и восполнить пробелы в базе данных геоморфоструктур по ряду необходимых для последующей работы параметров.

Для понимания причин наблюдаемых проявлений склоновых и абразионных процессов на основе литературных и картографических материалов, а также баз данных, были также проанализированы сведения о геотектонике и активности эндогенных процессов, климатических условиях и изменениях климата, современных и планируемых антропогенных воздействиях.

### Результаты и обсуждение

# Факторы, определяющие современную динамику абразионных берегов

Район исследований приурочен к Анапскому сейсмогенерирующему блоку высокоплотной консодидированной коры северо-восточного фланга Восточно-Черноморской микроплиты (Стогний, Стогний, 2019) и характеризуется очень высоким уровнем сейсмотектонической активности. Юго-западная половина блока расположена в акватории Черного моря, а северо-восточная — на суше. Плановые размеры составляют порядка 50-60 км. С севера блок ограничен Причерноморским разломом, а с запада и востока — Таманским и Новороссийским разломами (рис. 6).

Площадь Анапского блока не превышает 4 тыс. кв. км, что ограничивает предельные размеры очага и максимальную (до 6.0) магнитуду землетрясений (рис. 7). Большинство событий, зафиксированных в данном районе, относятся к слабым и умеренным. Сильные (магнитуда > 6 баллов по шкале Рихтера) в данном районе и прилегающих областях не зафиксированы. Ближайшие серьезные события произошли в районе Сочи в 1955 году (Красная Поляна): магнитуда землетрясения составила 7-8. Ранее, в 1906 году, разрушительное землетрясение произошло в районе Тимашевска. Магнитуда землетрясения тогда оценивается в 6-6.5 баллов. Эпицентр был расположен не глубоко, вследствие чего это сейсмособытие считается самым мощным в Краснодарском крае.



Рисунок 6. Фрагмент тектонической схемы консолидированной коры Северо-Западного Кавказа по результатам анализа гравитационного поля (Стогний, Стогний, 2019)

1 – разломы (В – Восточно-Черноморский, К – Крымский, Н – Новороссийский, П – Причерноморский, Т – Таманский);
 2 – сейсмогенерирующие блоки Восточно-Черноморской микроплиты;
 3 – Анапский сейсмоактивныд район;
 4 – контур положительной Керченско-Кубанской магнитной аномалии;
 5 – линия Адыгейского профиля МОВЗ (Дагомыс-Абадзехская-Гиагинская). Эпицентры землетрясений: исторических – серый цвет, инструментальных – черный цвет

**Figure 6.** The Northwest Caucasus consolidated crust tectonic map based on the results of the gravity field analysis (Stogniy, Stogniy, 2019)

I-fault lines (B – East Black Sea, K – Crimean, H – Novorossiysk,  $\Pi$  – Black Sea, T – Taman); 2 – seismogenic blocks of the East Black Sea microplate; 3 – Anapa seismic area; 4 – the area of the positive Kerch-Cuban magnetic anomaly; 5 – Adyghe profile line based on earthquake converted-wave method (Dagomys– Abadzekh – Giaginskaya). Earthquake epicenters: historical – gray, instrumental – black

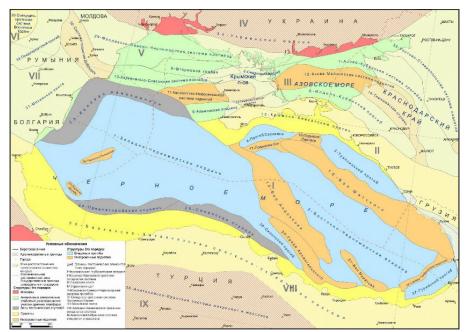


Рисунок 7. Схема тектонического строения Черного моря (с использованием материалов Глумов и др., 2014)

Figure 7. The tectonic structure scheme of the Black Sea (Glumov et al., 2014)

На схеме сейсмичности (рис. 8) приведены данные по наиболее значимым событиям за последние 60 лет. Большая часть относится к акватории Черного моря и маркирует, вероятно, крупную надвиговую зону, приуроченную к северной границе Туапсинского прогиба (Афанасенков и др., 2007). Глубина очагов большинства событий располагается в интервале 30-40 км, магнитуда варьирует в пределах 3.5-5.0. Так как эти события происходят в акватории, то следует обратить внимание, что они могут оказывать двойное влияние на береговые комплексы: непосредственное сейсмическое воздействие, а также провоцирование волн цунами.

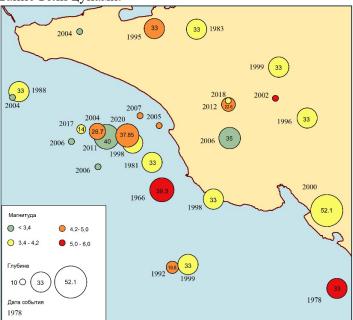


Рисунок 8. Сейсмичность Анапского сейсмического блока

Цветом обозначена магнитуда, размером знака и цифрами внутри знака глубина землетрясения, цифры рядом со знаком указывают дату события

Авторская разработка на основе данных Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) за 1950-2020 гг.

#### Figure 8. Seismicity of Anapa block

The magnitude is indicated by colors, the size and numbers inside the circle indicate a depth of the earthquake, numbers next to the sign indicate the event date

The original development based on Federal Research Center "Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences" (FRC EGS RAS) data, 1950-2020

Определяющими геоморфологическими особенностями данного типа берегов являются уклоны подводного склона и берегового уступа, а локальные отличия в ходе протекания береговых процессов обусловлены наличием тектонических нарушений, различиями в составе пород, структуре флиша.

С точки зрения динамики рассматриваемых берегов важную роль играют экстремальные осадки, которые могут являться причиной оползней и обвалов различной мощности. Экстремальные значения сумм осадков могут быть значительными. Так, в Новороссийске, согласно данным метеонаблюдений (гр5), за период 2006-2020 гг. в мае, июле, августе и сентября за 12 ч может выпасть больше месячной нормы суммы осадков.

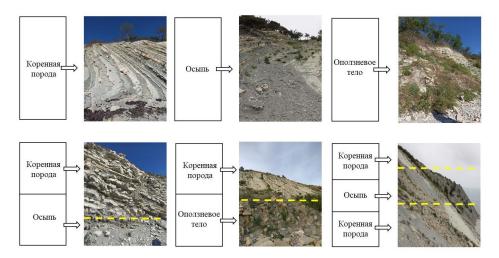
Например, 6-7 июля 2012 г. на территории нескольких районов Краснодарского края прошли интенсивные ливневые дожди. Количество выпавших осадков, по данным Росгидромета, является экстремальным и не наблюдалось ранее за всю историю инструментальных наблюдений в регионе. По данным Росгидромета, максимальные суточные суммы осадков по метеостанции «Новороссийск» ранее были зарегистрированы в 1988 г. и составили 180 мм, а их обеспеченность (вероятность превышения) оценивалась как один раз в 100 лет. Однако за сутки с 07 час. 6 июля по 07 час. 7 июля был зафиксирован новый максимум суточных осадков – 275 мм. Еще сильнее был превышен исторический максимум суточных осадков (105 мм) по метеостанции «Геленджик», где за 24 часа выпало 311 мм (Крыленко и др., 2012; Исупова и др., 2015). Выпадение менее чем за сутки почти полугодового количества осадков вызвало катастрофический подъем вод в реках и мелких водотоках, затопление прилегающих территорий. Повсеместно (в том числе на территории населенных пунктов) сформировались селеподобные водно-грязевые потоки. Резко увеличился вынос жидкого и твердого речного стока в береговую зону Черного и Азовского морей, произошло значительное преобразование прибрежного рельефа. Сильно пострадали попавшие в зону наводнения населенные пункты, автодороги и сельскохозяйственные угодья (Крыленко и др., 2012).

Высокие летние температуры способствуют растрескиванию пород и физическому выветриванию. Высокие температуры холодного периода (зачастую – положительные, с редкими переходами через 0°С), уменьшают значимость морозного растрескивания. В то же время существенную роль играет химическое выветривание (растворение карбонатных пород), а также последствия намокания и обсыхания неустойчивых к данному воздействию пород. Новороссийская бора оказывает на береговые системы незначительное воздействие, т.к. береговые уступы находятся, в основном, с подветренной стороны по отношению к северо-восточным ветрам. Гораздо существеннее воздействие сильных ветров южного направления, вызывающих штормовое волнение. Несмотря на то, что смерчи формируются в море вдоль района исследований регулярно, они крайне редко выходят на сушу, но могут приводить к значительным разрушениям на ограниченном участке берега.

Антропогенная деятельность на береговых обрывах так же достаточно специфична по сравнению с другими участками морских берегов. За редкими исключениями, природопользование как таковое отсутствует. При этом в ходе берегозащитных мероприятий, направленных на сохранение хозяйственных объектов под или над клифом, сам клиф подвергается значительной трансформации, часто приводящей к полной гибели расположенных на нем растительных сообществ. Учитывая отмеченную выше недооценку важности сохранения уникальных фитоценозов, при проведении работ вопрос о охране флористических комплексов не ставится. Если учесть, что практически половина абразионных берегов Черного моря в пределах России в той или иной мере подвергалась берегозащитным мероприятиям, масштаб проблемы и актуальность ее решения очевидны.

### Результаты мониторинговых исследований

Проведенные мониторинговые исследования позволили собрать информацию о рельефе, слагающих горных породах, особенностях залегания флишевых пластов, геоморфоструктурах. В результате была создана база данных (готовится к регистрации), дополненная фотографическими материалами для каждой трансекты с типизацией фрагментов абразионных берегов (рис. 9).



**Рисунок 9.** Типизация элементов склонов абразионных берегов по данным полевых исследований

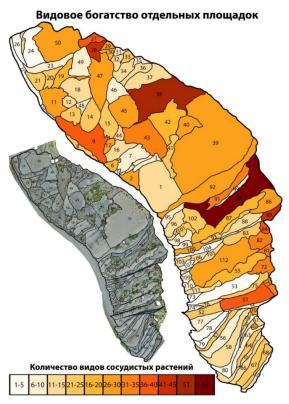
Figure 9. Classification of the abrasive coast slope elements under the field research

Полученные в ходе исследований данные сопоставлялись с данными о сейсмичности и погодно-климатическими параметрами территории. Особое внимание уделялось результатам опубликованных работ после экстремального ливня 2012 года. Тогда вдоль рассматриваемого участка берега было зафиксировано не менее 30 новых оползневых тел (Евсюков и др., 2015; Исупова и др., 2015). Произошло значительное преобразование абиотической составляющей экосистем и, соответственно, видового состава и структуры растительных сообществ нарушенных участков. Установлено, что наибольший вклад в динамику экосистем морских абразионных берегов вносят экстремальные погодные явления, в частности экстремальные ливни, а наименьший – абразионные процессы и антропогенный пресс.

Другим направлением мониторинговых исследований было изучение растительности и ее пространственной динамики. Основными факторами пространственной дифференциации растительных сообществ являются ландшафтная структура берегового склона, распространение и активность экзогенных процессов, скорость разрушения. Более чем 500 геоботанических описаний (общее количество растительных выделов в трансектах и самостоятельные описания) было внесено в вышеупомянутую базу данных.

На примере участка абразионного берега западнее Голубой бухты была построена цифровая модель рельефа (см. рис. 5) В последние годы построе-

ния цифровых моделей по результатам беспилотной аэрофотосъемки все шире применяется в исследованиях экосистем. Такой подход позволяет быстро получить информацию для больших площадей при низких трудозатратах (Puliti et al., 2015; Messinger et al., 2016). Трехмерные цифровые модели применяются для изучения лесных сукцессий, исследования структуры древостоев, оценки биомассы растительности (Медведев и др., 2019; Hudak et al., 2014). Однако, работы по изучению экосистем на абразионных берегах при помощи аэрофотосъемки ранее не проводились. На основе цифровой модели, построенной по результатам аэрофотосъемки с дополнительной адаптацией для участков высокими береговыми обрывами (Крыленко, Крыленко, 2020), была построена карта видового разнообразия сосудистых растений по данным полевых исследований 2019 года (рис. 10).



**Рисунок 10.** Фотографическая основа с контурами площадок и их видовое богатство (Zhuk et al., 2020)

Figure 10. Photo image with the outlines of the sites and their species richness (Zhuk et al., 2020)

На основе дешифрирования данных дистанционного зондирования было выделено 111 однородных контуров, для каждого из которых было выявлено флористическое богатство. Всего за время мониторинговых исследований на данном участке было обнаружено 132 вида сосудистых растений в составе 42 семейств, при этом видовое богатство отдельных контуров варьировало от одного-пяти до пятидесяти и более видов на одном фрагменте склона (Лукиных, Крыленко, 2020).

Кроме построенной карты видового богатства для данного участка была разработана веб-ГИС база данных растительности с использованием MySQL для архивирования и обеспечения онлайн-доступа к данным, а также их визуализации. Контуры площадок привязаны к онлайн картографической основе. База данных растительности включает в себя две таблицы: первая — с координатами участка и списком флоры, включая их количество и иные статистически важные характеристики. Вторая таблица содержит более подробное описание растительности на каждой из площадок и фотографические материалы. Пользовательский интерфейс был разработан с использованием программного обеспечения jQuery и mapBox GL. Он позволяет получить доступ к данным и визуализировать ряд информации о видах, семействах, жизненных формах растений, плодах, экологической группе растительности по отношению к влаге, свету и субстрату, принадлежность к Красной книге и т.д. (рис. 11) (Zhuk et al., 2020).



**Рисунок 11.** Пример работы/использования интерфейса веб-ГИС с фотографическими материалами для отдельной площадки (Zhuk et al., 2020)

Figure 11. An example of web GIS interface implementation with pictures for individual sites (Zhuk et al., 2020)

Объединение полученных сведений о рельефе, геоморфоструктурах и растительности позволило перейти к созданию ландшафтной карты. Собранного материала оказалось достаточно, чтобы типизировать экосистемы абразионных берегов. В качестве основных единицы картирования были выбраны природно-территориальные комплексы ранга подурочища т.к. они, с одной стороны, хорошо выделяются в ходе натурных исследований, и хорошо читаются на крупномасштабных картах, с другой. Ниже в табл. 2 приведены примеры подурочищ, которые выделялись в рамках урочища по характеру видимого залегания геологических слоев, крутизне склона, особенности произрастания растительности вдоль склона и в соответствии с микро- и наноформами рельефа.

Таблица 2. Примеры типичных подурочищ абразионных берегов района исследований

Table 2. Examples of typical sub-stows for the abrasive coasts at the research area

## Обший вид Характеристика Подурочище: склон высотой до 100 м, неровный, сложенный флишем песчаников и аргиллитов, осложненный коллювиальными конусами из дресвы и щебня с примесью крупных и средних глыб. Стрии: выражены, сложены грубообломочным материалом. Растительность: произрастает мозаично (между слоями песчаника и на осыпях), представлена мачком желтым и жабрицей, реже встречается сумах. Подурочище: склон высотой 50-60 м, неровный, осложненный эрозионными бороздами и коллювиальными конусами разнощебнистого материала, сложенный сейсмооползневыми отложениями с включениями блоков коренных пород (флишей) в верхней части склона. Стрии: не выражены. Растительность: произрастает мозаично, представлена преимущественно жабрицей. Подурочище: склон высотой до 60 м, ступенчатый, осложненный эрозионными бороздами, волноприбойными нишами и местами коллювиальными конусами из разнощебнистого материала, сложенный флишем песчаников и аргиллитов, перекрытым сейсмооползневыми отложениями. Стрии: выражены, сложены грубообломочным материалом, с разреженной растительностью. Растительность: произрастает разреженно, представлена жабрицей и злаками. Подурочище: склон высотой до 10 м, сложенный флишем песчаников и аргиллитов, залегающим под углом. Стрии: не выражены. Растительность: произрастает разреженно, представлена жабрицей и мачком желтым.

В результате камеральной обработки результатов полевых исследований и данных дистанционного зондирования были выявлены общие черты при-

родно-территориальных комплексов, что позволило разработать для них единую легенду, которую можно использовать для характеристики экосистем вдоль всего участка побережья (рис. 12).

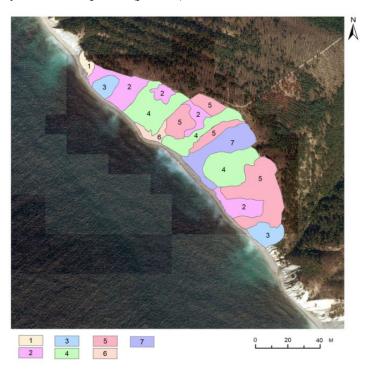


Рисунок 12. Ландшафтная карта фрагмента абразионного берега района исследований с текстовой легендой (Алейникова и др., 2021)

1 — очень крутой склон, осложненный коллювиальными конусами, сложенный флишевыми породами, залегающими вертикально без растительности; 2 — очень крутой склон, трещиноватый, осложненный осыпями, сложенный флишевыми породами, залегающими вертикально, местами под сосновым редколесьем с пятнами разнотравья на фрагментарных почвах и единичными соснами по трещинам; 3 — очень крутой склон, слаботрещиноватый, представленный бронировочным пластом флишевых пород с единичными соснами; 4 — очень крутой склон, трещиноватый, осложненный осыпями, представлен бронировочным пластом флишевых пород с пятнами разнотравья по осыпям; 5 — крутой склон, сложенный флишевыми породами, местами перекрытый оползневыми отложениями под сосновым разнотравным редколесьем на фрагментарных почвах; 6 — очень крутой склон, сложенный флишевыми породами, залегающими вертикально, местами обвально-осыпной с пятнами разнотравья; 7 — очень крутой склон, представлен бронировочным пластом флишевых пород, в нижней части обвально-осыпной с пятнами разнотравья по осыпям

Figure 12. The landscape map of the abrasive coast at the research area with a legend (Aleynikova et al., 2021)

1 – a very steep slope, with colluvial cones, composed by vertical flysch rocks without vegetation; 2 – a very steep crevassed slope, with screes, composed by vertical flysch rocks, with pine open woodland and grass spots on fragmental soils, with single pines along the cracks; 3 – a very steep slightly crevassed slope, formed by a strong layer of flysch rocks with single pines; 4 – a very steep crevassed slope, with screes, formed by a strong layer of flysch rocks with grass spots on screes; 5 – a steep slope, composed by flysch rocks, sometimes covered by landslide deposits with a pine forest and grasses on fragmental soils; 6 – a very steep slope, composed by vertical flysch rocks with landslide elements, with grass spots; 7 – a very steep slope, formed by a strong layer of flysch rocks with landslide elements in the lower part, with grass spots on screes

#### Заключение

В ходе мониторинговых исследований в 2018-2021 гг., а также более ранних полевых исследований авторов, литературных материалов и данных дистанционного зондирования было накоплено достаточно информации, чтобы охарактеризовать разнообразие экосистем морских абразионных берегов Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа между Новороссийской и Геленджикской бухтами. Результаты включают более 500 геоботанических описаний, в результате обработки которых были созданы базы данных геоморфоструктур, флоры и растительности.

Мониторинг с помощью БПЛА позволил получить данные более высокого разрешения, чем при использовании космических снимков среднего и высокого разрешения. Полученная в результате цифровая модель рельефа является высококачественной основой для создания на их основе ландшафтных и геоботанических карт.

Использованные методики оказались эффективными, количество собранного и систематизированного материала — достаточным для понимания комплексной характеристики береговых экосистем, а также причин их динамики.

В результате анализа собранных материалов к основным процессам, оказывающим существенное воздействие на абразионные берега Черного моря между Новороссийской и Геленджикской бухтами, были отнесены: экстремальные ливни, береговая абразия в результате штормовых явлений, землетрясения, и в меньшей степени — химическое и физическое выветривание в результате изменения температуры и влажности, а также эоловое воздействие.

Конкретная флора репрезентативного участка побережья может насчитывать 132 вида сосудистых растений в составе 42 семейств, при этом видовое богатство отдельных контуров может варьировать от одного-пяти до пятидесяти и более видов на однородном фрагменте склона.

Типизация природных комплексов и создание карты флористического богатства выполнены для репрезентативных участков побережья. В ходе дальнейшей обработки результатов мониторинга предполагается создание карт экосистем (природно-территориальных комплексов, растительности) для всего района исследований.

Полученные результаты исследования могут послужить основой для обоснования необходимости охраны ботанического и ценотического разнообразия уникальных экосистем Черноморского побережья Кавказа, а также решения широкого круга задач, связанных с практикой охраны природы и рационального природопользования.

#### Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ грант №19-05-00716, а также темы госзадания №АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ "ИГКЭ" и № 0128-2021-0018.

### Список литературы

Алейникова, А.М., Андреева, А.П., Крыленко, М.В., Липка, О.Н. (2021) Опыт детального ландшафтного картографирования морских абразионных берегов Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа, *Геополитика и экогеодинамика регионов*, т. 7(17), № 2, с. 108-116, doi: 10.37279/2309-7663-2021-7-2-104-112.

Афанасенков, А.П., Никишин, А.М., Обухов, А.Н. (2007) *Геологическое строение и углеводородный потенциал Восточно-Черноморского региона*, М., Научный мир, 172 с.

Глумов, И.Ф., Гулев, В.Л., Сенин, Б.В., Карнаухов, С.М. (2014) Региональная геология и перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины и прилегающих шельфовых зон, под ред. Б.В. Сенина, часть 1, М., «Издательский дом Недра», 460 с.

Голуб, В.Б., Гречушкина, Н.А., Сорокин, А.Н., Николайчук, Л.Ф. (2009) Растительные сообщества на каменистых обнажениях северо-западной части Черноморского побережья Кавказа, в кн.: *Растительность России*, вып. № 14, с. 3-14.

Евсюков, Ю.Д., Борисов, Д.Г., Куклев, С.Б., Гуднев, В.И. (2015) Изменения рельефа горы Дооб и прибрежной отмели после катастрофического наводнения (Северо-Западный Кавказ), *Геология, география и глобальная энергия*, № 3(58), с. 90-101.

Зернов, А.С. (2002) Определитель сосудистых растений севера Российского Причерноморья, под ред. А.Г. Еленевского, М., Изд-во КМК, 283 с.

Исупов, М.В., Дзагания, Е.В., Крыленко, В.В., Крыленко, М.В. (2015) Воздействие ливня экстремальной интенсивности (6-7 июля 2012 г.) на гидролого-морфологические процессы в бассейнах малых горных рек (на примере р. Ашамбы), Водные ресурсы, т. 42, № 1, с. 92-99, doi: 10.7868/S0321059615010058.

Косьян, Р.Д. (2013) Научное обеспечение сбалансированного планирования хозяйственной деятельности на уникальных морских береговых ландшафтах и предложения по его использованию на примере Азово-Черноморского побережья: отчет о НИР, Геленджик, ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, т. 8, 124 с.

Крыленко, В.В. (2013) Применение оборудования ГНСС LEICA GEOSYSTEMS в научных исследованиях,  $\Gamma$  геопрофи, вып. 5, с. 19-23.

Крыленко, В.В., Липка, О.Н., Алейникова, А.М. (2012) Анализ устойчивости естественных и техногенных ландшафтов Черноморского побережья России к воздействию ливней экстремальной интенсивности (на примере ливня 6-7 июля 2012 г.), Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, № 4, с. 82-92.

Крыленко, В.В., Руднев, В.И. (2018) Методика аэрофотосъемки Байкальской косы, Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, № 4, с. 59-64, doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-59-64.

Крыленко, В.В., Косьян, Р.Д., Крыленко, М.В. (2021) Берега северо-западной части черноморского побережья Кавказа в начале XXI века, *Океанологические исследования*, № 1, с. 68-92.

Крыленко, В.В., Крыленко, М.В. Высокоточная съемка рельефа Бакальской косы (2018), Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря, № 4, с. 65-72.

Крыленко, М.В., Крыленко, В.В. (2020) Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА, *Бюллетень науки и практики*, т. 6, № 2, с. 10-19, электронный ресурс, URL: https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01.

Липка, О.Н. (2006) Ботаническое разнообразие и современное состояние растительности хребта Маркотх (Северо-Западный Кавказ), Дис. ... канд. геогр. наук, М., 250 с.

Лукиных, А.И., Крыленко, С.В. (2020) Сосудистые растения абразионного берега северо-западной части черноморского побережья Кавказа, *Междуна-родный журнал гуманитарных и естественных наук*, № 7-1, с. 5-14, doi: 10.24411/2500-1000-2020-10837.

Медведев, А.А., Тельнова, Н.О., Кудиков, А.В. (2019) Дистанционный высокодетальный мониторинг динамики зарастания заброшенных сельскохозяйственных земель лесной растительностью, *Вопросы лесной науки*, № 3, с. 1-12, doi: 10.31509/2658-607x-2019-2-3-1-12.

Стогний, Г.А., Стогний, В.В. (2019) Сейсмотектоническая модель северозападного Кавказа: геолого-геофизический аспект,  $\Phi$ изика Земли, № 4, с. 124-132, электронный ресурс, URL: https://doi.org/10.31857/S0002-333720194124-132.

Rp5. *Расписание погоды*, электронный ресурс, URL: https://rp5.ru/ (дата обращения 07 сентября 2021).

Krylenko, M.V. (2009) Relief of the Black Sea coastal zone between Anapa and Novorossiysk as recreational factor, Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST, vol. 1, pp. 463-468.

Hudak, A.T., Haren, A.T., Crookston, N.L., Liebermann, R.J., Ohmann, J.L. (2014) Imputing forest structure attributes from stand inventory and remotely sensed data in western Oregon, USA, *Forest Science*, vol. 60, pp. 253-269, doi: 10.5849/forsci.12-101.

Messinger, M., Gregory, P., Asner, G.P., Silman, M. (2016) Rapid assessment of Amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems, *Remote Sensing*, vol. 8, № 8, pp. 1-15, doi: 10.3390/rs8080615.

Puliti, S., Ole Orka, H., Gobakken, T., Naesset, E. (2015) Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system, *Remote Sensing*, vol. 7, № 8, pp. 9632-9654, doi: 10.3390/rs70809632.

Zhuk, E., Krylenko, S., Lukinykh, A. (2020) On-line data access interface for vegetation database at the Tuapkhat massif' cliff, Proceedings of Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), vol. 11524.

#### References

Alejnikova A.M., Andreeva, A.P., Krylenko, M.V., Lipka, O.N. (2021) Opyt detal'nogo landshaftnogo kartografirovaniya morskih abrazionnyh beregov Chernomorskogo poberezh'ya Severo-Zapadnogo Kavkaza [Experience in detailed landscape mapping of the Black Sea abrasion coast at the North-Western Caucasus], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, vol. 7, no. 2, pp. 108-116, doi: 10.37279/2309-7663-2021-7-2-104-112.

Alejnikova, A.M., Krylenko, V.V., Lipka, O.N. (2012) Sukcessionnye smeny rastitel'nosti garevyh lesov iz sosny picundskoj na zapadnoj okonechnosti chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza (mezhdu Cemesskoj i Gelendzhikskoj buhtami) [Successional changes of vegetation of the burned down woods from Pitsunda pine on the western extremity of the Black Sea coast of Caucasus (between Tsemes and Gelendzhik bays)]. Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti, no. 2, pp. 26-31.

Afanasenkov, A.P., Nikishin, A.M., Obuhov, A.N. (2007) Geologicheskoe stroenie i uglevodorodnyj potencial Vostochno-Chernomorskogo regiona [Geological structure and hydrocarbon potential of the Eastern Black Sea region], Moscow, Russia, 172 p.

Glumov, I.F., Gulev, V.L., Senin, B.V., Karnauhov, S.M. (2014) Regional'naya geologiya i perspektivy neftegazonosnosti Chernomorskoj glubokovodnoj vpadiny i prilegayushchih shel'fovyh zon [Regional geology and prospects of oil and gas potential of the Black Sea deep-water trough and adjacent shelf zones], Moscow, Russia, 460 p.

Golub, V.B., Grechushkina, N.A., Sorokin, A.N., Nikolajchuk, L.F. (2009) Rastitel'nye soobshchestva na kamenistyh obnazheniyah severo-zapadnoj chasti Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [Plant communities on rock outcrops in the Northwest part of the Black Sea Caucasian coast], *Rastitel'nost' Rossii*, no. 14, pp. 3-14.

Evsyukov, Yu.D., Borisov, D.G., Kuklev, S.B., Gudnev, V.I. (2015) Izmeneniya rel'efa gory Doob i pribrezhnoj otmeli posle katastroficheskogo navodneniya (Severo-Zapadnyj Kavkaz) [Relief changes Doob mountain and coastal shallows after the disastrous floods (North-Western Caucasus)], *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*, no. 3(58), pp. 90-101.

Zernov, A.S. (2002) Opredelitel' sosudistyh rastenij severa Rossijskogo Prichernomor'ya [Determinant of vascular plants of the northern part of the Russian Black Sea region], Moscow, Russia, 283 p.

Isupova, M.V., Dzaganiya, E.V., Krylenko, V.V., Krylenko, M.V. (2015) Vozdejstvie livnya ekstremal'noj intensivnosti (6-7 iyulya 2012 g.) na gidrologomorfologicheskie processy v bassejnah malyh gornyh rek (na primere r. Ashamby) [The impact of extreme flood (July 6–7, 2012) on the hydrological and morphological processes in the basins of small mountain rivers (on the example of the Ashamba River)], *Vodnye resursy*, vol. 42, no. 1, pp. 92-99, doi: 10.7868/S0321059615010058.

Kos'yan, R.D. (2013) Nauchnoe obespechenie sbalansirovannogo planirovaniya hozyajstvennoj deyatel'nosti na unikal'nyh morskih beregovyh landshaftah i predlozheniya po ego ispol'zovaniyu na primere Azovo-Chernomorskogo poberezh'ya [Scientific support of balanced planning of economic activity on unique marine coastal landscapes and proposals for its use on the example of the Azov-Black Sea coast], Gelendzhik, Russia, vol. 8, 124 p.

Krylenko, V.V. (2013) Primenenie oborudovaniya GNSS LEICA GEOSYSTEMS v nauchnyh issledovaniyah [Application of LEICA GEOSYSTEMS GNSS equipment in scientific research], *Geoprofi*, no. 5, pp. 19-23.

Krylenko, V.V., Lipka, O.N., Alejnikova, A.M. (2012) Analiz ustojchivosti estestvennyh i tekhnogennyh landshaftov Chernomorskogo poberezh'ya Rossii k vozdejstviyu livnej ekstremal'noj intensivnosti (na primere livnya 6-7 iyulya 2012 g.) [Stability analysis of natural and technogenic landscapes of the Black Sea Coast of Russia to the effects of extreme floods (on the example of shower on July 6-7, 2012)]. Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti, no. 4, pp. 82-92.

Krylenko, V.V., Rudnev, V.I. (2018) Metodika aerofotos"emki Bakal'skoj kosy [Technique of photographic aerial survey of the Bakalskaya spit]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon moray*, no 4, pp. 59-64, doi: 10.22449/2413-5577-2018-4-59-64.

Krylenko, M.V., Krylenko, V.V. (2020) Osobennosti vypolneniya vysokotochnoj s"emki rel'efa abrazionnogo berega s pomoshch'yu BPLA [Features of performing high-precision survey of the abrasion coast relief by UAV], *Byulleten' nauki i praktiki*, vol. 6, no. 2, pp. 10-19, available at: https://doi.org/10.33619/2414-2948/51/01.

Lipka, O.N. (2006) Botanicheskoe raznoobrazie i sovremennoe sostoyanie rastitel'nosti hrebta Markoth (Severo-Zapadnyj Kavkaz) [Botanical diversity and the current state of vegetation on the Markoth ridge (North-Western Caucasus)], Candidate's thesis, Moscow, Russia, 250 p.

Lukinyh, A.I., Krylenko, S.V. (2020) Sosudistye rasteniya abrazionnogo berega severo-zapadnoj chasti chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [Vascular plants on abrasion coast in the Northwestern part of the Black Sea Caucasian coast],

*Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, no. 7-1, pp. 5-14, doi: 10.24411/2500-1000-2020-10837.

Medvedev, A.A., Tel'nova, N.O., Kudikov, A.V. (2019) Distancionnyj vysokodetal'nyj monitoring dinamiki zarastaniya zabroshennyh sel'skohozyajstvennyh zemel' lesnoj rastitel'nost'yu [Highly detailed remote sensing monitoring of tree overgrowth on abandoned agricultural lands], Voprosy lesnoj nauki, no. 3, pp. 1-12, doi: 10.31509/2658-607x-2019-2-3-1-12.

Stognij, G.A., Stognij, V.V. (2019) Sejsmotektonicheskaya model' severozapadnogo Kavkaza: geologo-geofizicheskij aspect [Seismotectonic model of the Northwest Caucasus: geological-geophysical aspect], *Fizika Zemli*, no. 4, pp. 124-132, available at: https://doi.org/10.31857/S0002-333720194124-132.

Hain, V.E. (2009) Tektonika yuzhnogo obramleniya Vostochno-Evropejskoj platformy (Ob"yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoj karte CHernomorsko-Kaspijskogo regiona. Masshtab 1: 2 500 000) [Tectonics of the southern border of the East European Platform (Explanatory note to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. Scale 1: 2 500 000)], Krasnodar, Russia, 213 p.

Krylenko, M.V. (2009) Relief of the Black Sea coastal zone between Anapa and Novorossiysk as recreational factor, Proceedings of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST, vol. 1, pp. 463-468.

Hudak, A.T., Haren, A.T., Crookston, N.L., Liebermann, R.J., Ohmann, J.L. (2014) Imputing forest structure attributes from stand inventory and remotely sensed data in western Oregon, USA, *Forest Science*, vol. 60, pp. 253-269, doi: 10.5849/forsci.12-101.

Messinger, M., Gregory, P., Asner, G.P., Silman, M. (2016) Rapid assessment of Amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems, *Remote Sensing*, vol. 8, № 8, pp. 1-15, doi: 10.3390/rs8080615.

Puliti, S., Ole Orka, H., Gobakken, T., Naesset, E. (2015) Inventory of small forest areas using an unmanned aerial system, *Remote Sensing*, vol. 7, № 8, pp. 9632-9654, doi: 10.3390/rs70809632.

Zhuk, E., Krylenko, S., Lukinykh, A. (2020) On-line data access interface for vegetation database at the Tuapkhat massif cliff, Proceedings of Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), vol. 11524.

Статья поступила в редакцию (Received):07.09.2021. Статья доработана после рецензирования (Revised): 05.10.2021; Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021.

#### Для цитирования / For citation:

Крыленко, М.В., Алейникова, А.М., Андреева, А.П., Богданович, А.Ю., Добролюбова, К.О., Крыленко, С.В., Липка О.Н. (2021) Мониторинг экоси-

стем морских абразионных берегов Черноморского побережья Северо-Запад ного Кавказа, *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXII, N 3-4, с. 33-57, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-33-57.

Krylenko, M.V., Aleinikova, A.M., Andreeva, A.P., Bogdanovich, A.Yu., Dobrolyubova, K.O., Krylenko, S.V., Lipka, O.N. (2021) Monitoring of the sea abrasion coast ecosystems at the Black Sea coast of the Northwestern Caucasus, *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*, vol. XXXII, no. 3-4, pp. 33-57, doi: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-33-57.