

СТАТЬИ

УДК 911.52:550.837.76

ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БЕРЕГОВ ЗАЛИВА КАСАТКА, ОСТРОВ ИТУРУП

Едемский Д.Е., Прокопович И.В.

*ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова» РАН, Москва, Троицк, e-mail: deedemsky@gmail.com*

Остров Итуруп, как все острова Большой Курильской гряды, характеризуется активными геологическими процессами. Это выражается в повышенной сейсмичности, высокоамплитудных перемещениях земной поверхности по разломам, проявлениях интенсивных береговых процессов. В ходе исследования залива Касатка были выявлены основные морфогенетические типы берегов и определены ведущие рельефообразующие процессы на берегах и примыкающих к ним низких морских террасах. В работе приводятся результаты георадиолокационного обследования абразионно-аккумулятивных террас залива Касатка. Полученные георадарные разрезы фиксируют динамику изменений параметров георадарных комплексов вдоль профилей и в целом морских террас 45–60, 25–40, 5–15 м. Измерения показали, что пирокластический чехол с погребенными почвами на террасовых уровнях 25–40 и 45–60 м имеет субгоризонтальную плоскостную структуру мощностью от 2,5 до 5–6 м. Для интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур, на характерных участках профилей было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ). Полученные результаты георадарного зондирования сопоставляются с данными маршрутных исследований, в которых зафиксированы морфологические параметры форм рельефа, литологические особенности и интенсивность антропогенной нагрузки в пределах береговой зоны.

Ключевые слова: Итуруп, морские террасы, морские берега, почвенно-пирокластический чехол, георадиолокация, георадар

GPR SURVEY OF THE GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF SEA COAST OF KASATKA BAY, ITURUP

Edemskiy D.E., Prokopovich I.V.

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation, RAS,
Moscow, Troitsk, e-mail: deedemsky@gmail.com*

Iturup, like all the islands of The Kuril Islands, is characterized by active geological processes. This is expressed in increased seismicity, high-amplitude movements of the earth's surface along faults, and manifestations of intensive coastal processes. During the study of Kasatka Bay, the main morphogenetic types of coasts were identified and the leading relief-forming processes on the coasts and low sea adjacent terraces were determined. The paper presents the results of a GPR survey of the abrasion-accumulative terraces of Kasatka Bay. The obtained GPR scans record the dynamics of changes in the parameters of GPR complexes along the profiles and generally of sea terraces with height 45–60 m, 25–40 m, 5–15 m. Measurements showed that the pyroclastic cover with buried soils at terrace levels 25–40 m and 45–60 m has a subhorizontal layered structure with a thickness of 2.5 to 5–6 m. To interpret the obtained GPR profiles and reconstruct geological structures from them, sounding was performed on the typical sections of the profiles by using the common midpoint (CMP) method. The obtained results of GPR survey are compared with recorded data of route studies, in which the morphological parameters of the relief forms, lithological features and the intensity of the anthropogenic load within the coastal zone.

Keywords: Iturup, sea terraces, sea coast, soil-pyroclastic cover, GPR survey, georadar

Как и большая часть островов северо-западной периферии Тихого океана, Курилы имеют преимущественно вулканическое происхождение и располагаются в переходной зоне между Тихоокеанской океанической литосферной плитой и ее континентальным обрамлением [1]. Берега Курил развиваются на фоне продолжающейся вулканической активности и направленного тектонического воздымания, скорости которого составляют в голоцене по существующим оценкам около 1 мм/год [2]. Общие очертания береговой линии в значительной степени отражают расположение и контуры современных и древних вулканиче-

ских построек. Так, в обобщающей работе по берегам Тихого океана [2–4] авторы прямо указывают, что доминирующим типом берегов на Курилах являются вулканические на разных стадиях развития, с крайне слабой степенью волновой обработки берегов в пределах контуров активных вулканических построек.

Однако многие аспекты функционирования ландшафтов островов остаются невыясненными, это относится, в частности, к прибрежным морфосистемам. Морской рельеф о. Итуруп разделяется на надводный и подводный, которые в свою очередь делятся на современный и древний. Надводный

морской рельеф наиболее полно представлен в центральной и юго-западной частях острова. На побережье о. Итуруп разными авторами выделяется разное количество надводных морских террас от 200–300 м до 2–3 м. Ю.Ф. Чемяков [5] выделяет 9 террас, по данным В.К. Грабкова [6] – 7 террас, по данным А.П. Кулакова [7] – 6 террас. Н.Г. Раззигаева [8] для центральной части острова выделила террасы: 80–100, 25–30, 12–15 и 6–8 м.

Целью работы является изучение геолого-геоморфологического строения морских террас в центральной части о. Итуруп (залив Касатка) с применением геофизического метода георадиолокации – эффективного метода инженерно-геотехнического обследования грунтов.

В основе данной работы лежит детальное полевое обследование (включая георадиолокацию) центральной части береговой зоны острова Итуруп, в частности залива Касатка, выполненного в ходе совместной экспедиции Министерства обороны РФ и Русского географического общества в 2019 г.

Материалы и методы исследования

Планирование маршрутных исследований осуществлялось на основе предварительного анализа топографических, геологических и геоморфологических карт и космических снимков открытого доступа. В ходе маршрутных исследований залива Касатка были выявлены основные морфогенетические типы берегов и определены ведущие рельефообразующие процессы на берегах и примыкающих к ним низких морских террасах. Выполнено геоморфологическое описание морских террас.

При исследовании геолого-геоморфологического строения берегов применялись геофизические методы, в частности георадиолокация – эффективный метод инженерно-геотехнического обследования грунтов на глубинах от нескольких сантиметров до десятков метров. Работы на участке исследований выполнялись георадаром Лоза-В, антенными системами с центральными частотами 300 МГц и 50 МГц, передатчиком импульсной мощностью 1 МВт (5 кВ). При благоприятных геологических условиях георадарный комплекс способен достигать глубины исследования 15–20 м.

Для интерпретации полученных радиолокационных профилей и восстановления по ним геологических структур, на характерных участках было проведено зондирование по методу общей глубинной точки (ОГТ), позволяющее определить скорость электромагнитных волн во всех слоях георадарного разреза и пересчитать георадарный разрез из масштаба времен в масштаб глубин без привлечения априорной информации [9, 10].

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах залива Касатка нами выделено 4 морфогенетических типов берегов (рис. 1): абразионные берега с активными уступами, выработанными в эффузивах (а), абразионно-денудационные берега с валуно-глыбовой отмосткой в эффузивах и литифицированной пирокластике (б), денудационные (обвальные) берега с отмершими клифами, бронированные крупными сейсмообвальными телами (в), аккумулятивные берега (г) [11].

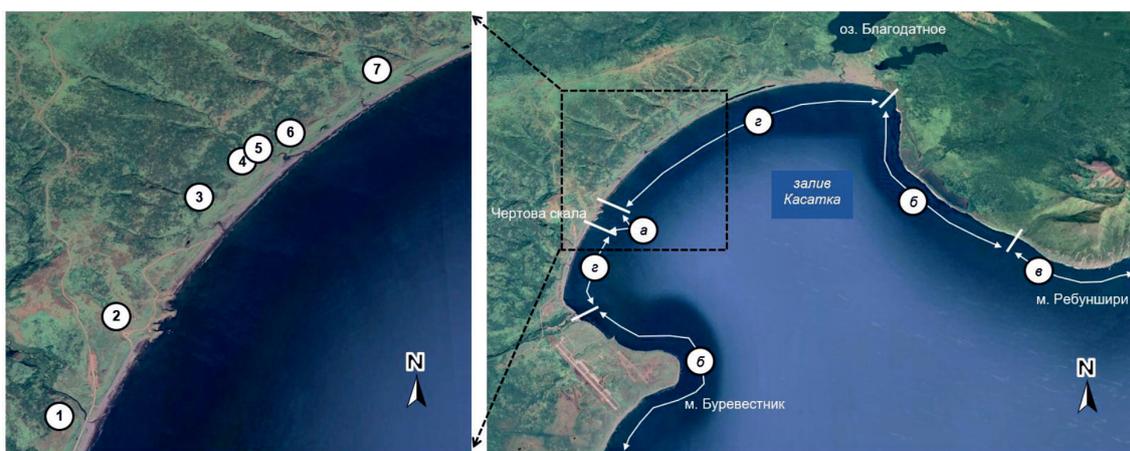


Рис. 1. Остров Итуруп: карта морфогенетических типов берегов (а–г) залива Касатка. Георадарные профили (1–7) на участке исследования

Аккумулятивные берега (2) наиболее выразительно развиты в центре кутовой части залива Касатка, где нами было заложено несколько геолого-геоморфологических и георадарных профилей. В результате георадарного обследования берегов центральной части залива Касатка было пройдено семь георадиолокационных профилей (1–7) (рис. 1), на прибрежном участке длиной более 5 км. Протяженность профилей составляла от 156 м до 362 м.

На основании полевых наблюдений авторы выделяют следующие террасовые уровни: 100–120, 45–60, 25–40, 5–15, 2–3 м. Характерный геоморфологический профиль берега (4) (рис. 1), на который нанесены результаты георадарной съёмки, представлен на рис. 2. Данный профиль на участке 240–680 м сформирован абразионно-аккумулятивной террасой высотой 25–40 м, частично покрытой бамбучником, кустарником и кедровым стлаником. На отметках 35–240 м можно выделить характерный георадарный разрез низкой морской аккумулятивной террасы 5–15 м с береговыми валами *в1–в10* и на отметках 0–35 м песчано-галечный пляж, образованный вследствие размыва береговых уступов и переноса отложений вдольбереговыми течениями.

Терраса 100–120 м представлена в районе Буревестника, а также в районе скалы Чертовка – озера Благодатного. Поверхность ее ровная, слабонаклоненная, расчлененная долинами рек и ручьев от U-образного до каньонообразного сечений. Тыловой шов неотчетлив. Бровка террасы сглажена и наиболее четко выражена в местах, где она окаймляется крутым (30–40°) уступом высотой до 50 м. Терраса цокольная, мощность аккумулятивного чехла составляет 10–35 м [12], который сложен слоистыми суглинками, тефрами, песками и галечниками. Возраст террасы ранне-среднечетвер-

тичный, по данным спорово-пыльцевого анализа возраст террасы позднеоплейстоценовый [5, 6].

Терраса 45–60 м также является цокольной. Поверхность террасы ровная, слегка наклонена в сторону берега моря (2–4°), ширина до 200 м. Тыловой шов довольно четкий, бровка сглажена. Долины рек и ручьев, пересекающих данную террасу, имеют U-образный профиль. По данным [12] мощность аккумулятивного чехла террасы 5–30 м. Возраст террасы среднечетвертичный [6], а по данным спорово-пыльцевого анализа возраст террасы оценён как позднеоплейстоценовый.

Анализ волновой картины террасы (рис. 3, *а, б*), профиль (2) (рис. 1), позволил выделить георадарные комплексы, границы между которыми проведены по линии изменения морфологии осей синфазности, границе несогласий [10, 13], интерпретация георадарных данных приведена на рис. 3, *в*. Георадарный комплекс (1), мощностью 2,5–4 м, сформированный из протяженных субгоризонтальных осей синфазности, интенсивность которых вдоль профиля стабильна, представляет собой ППЧ. Начиная с подошвы данного комплекса, георадарный разрез приобретает характерный нерегулярный волновой рисунок (2), мощностью 0–6 м, что свидетельствует о локальных несогласиях и подошва которого, ось синфазности высокой интенсивности (3), является кровлей коренных пород (4) цоколя террасы, перекрытого суглинками мощностью около 1 м. Георадарный комплекс (2), сформированный щебнисто-глыбовыми вулканическим материалом, предположительно результат лахаровых процессов. На других профилях, проложенных на террасах 45–60 м, георадарного комплекса (2) не наблюдается, что подтверждает локальный характер этого процесса.

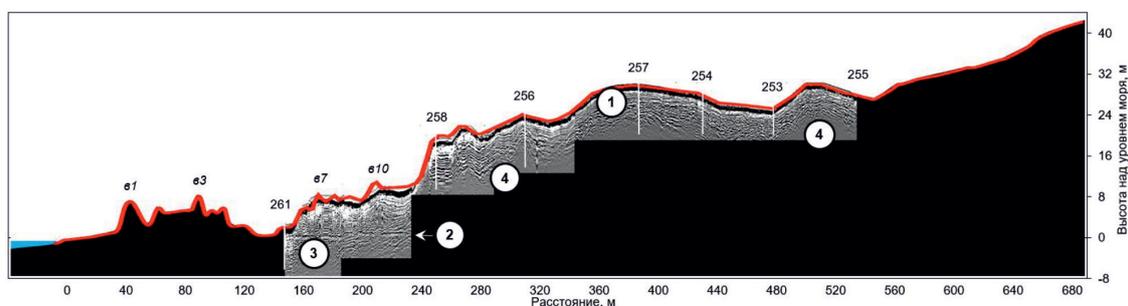


Рис. 2. Комбинация геоморфологического и георадарного профиля (4) (рис. 1):
1 – пирокластический чехол с погребёнными почвами (ППЧ);
2 – уровень грунтовых вод; 3 – галька, валуны; 4 – коренные породы, цоколь террасы

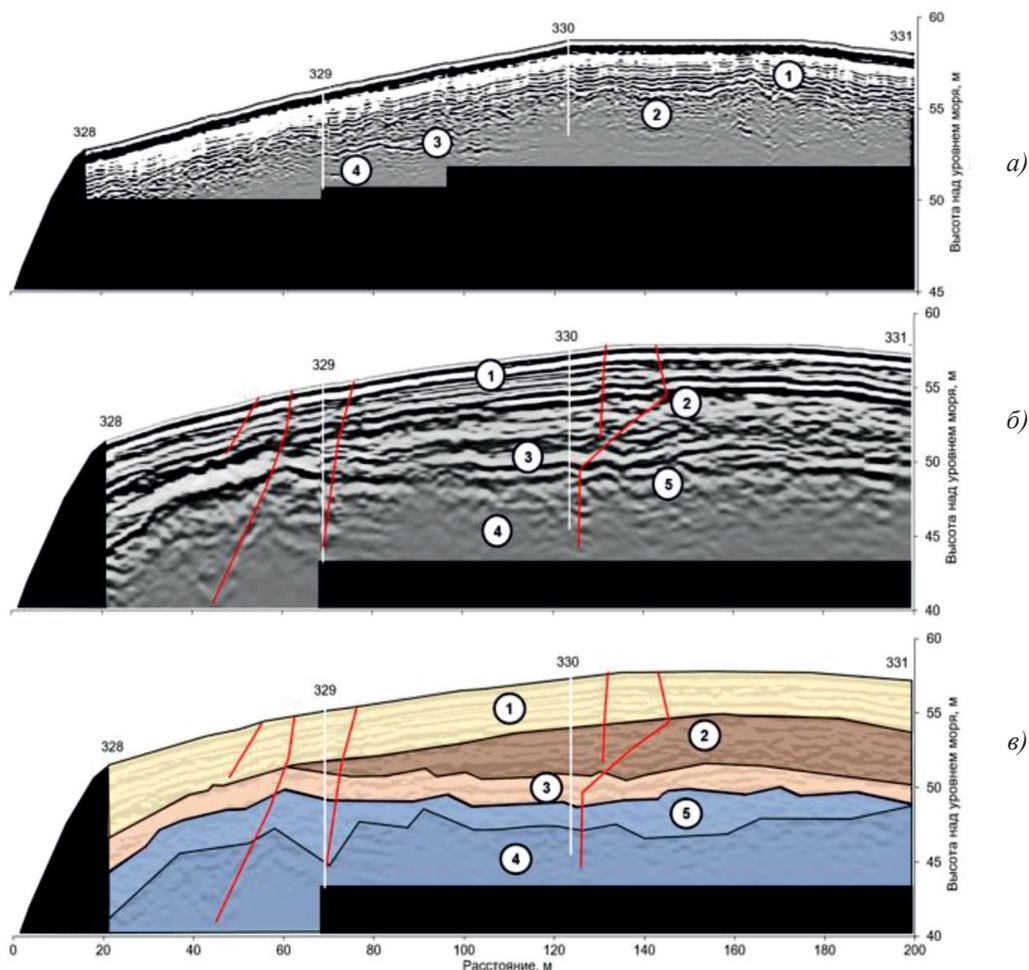


Рис. 3. Терраса 45–60 м, профиль (2) (рис. 1): а) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц; б) георадарный профиль, центральная частота 50 МГц; в) профиль с выделением георадарных комплексов; 1 – ППЧ; 2 – несортированные щебнисто-глыбовые отложения; 3 – суглинки; 4 – коренные породы, цоколь террасы; 5 – сильно разрушенный, трещиноватый цоколь террасы; красные линии – линии разрыва осей синфазности

Результаты георадарного обследования с применением 50 МГц антенны (рис. 3, б) зафиксировали локальные морфолитодинамические изменения на береговых уступах, перекрытых осадочными породами мощностью 0–4 м. Регулярная структура георадарных комплексов (1) и (4) имеет нарушения в виде разрывов в осях синфазности, которые выделены красными линиями на рис. 3. Кровля цоколя террасы сформирована разрушенными, сильно трещиноватыми андезит-базальтовыми лавовыми породами (5) мощностью до 5–6 м.

Поверхность террасы 25–40 м полого наклонена (3–5°) в сторону берега моря. Тыловой шов и бровка выражены чётко и ясно. Терраса является цикловой, мощность аккумулятивного чехла составляет 5–13 м [7]. В работе Н.Г. Разжигаевой [6]

определён возраст террасы как среднеплейстоценовый, и сформировалась она в условиях, сопоставляемых с миндель-рисским межледниковьем.

Анализ волновой картины абразионно-аккумулятивной террасы (рис. 4, а, б), профиль (5) (рис. 1), позволил выделить два георадарных комплекса, интерпретация георадарных данных приведена на рис. 4, в. Георадарный комплекс (1) сформирован из протяженных субгоризонтальных осей синфазности – ППЧ, с чередованием пеллов, песков. Нижний ярус (2) представлен сильно разрушенными коренными породами.

На рис. 4, а и б, весь георадарный профиль можно разделить условно на три участка. Участок, пикеты (242)–(244), на котором мощность отдельных прослоев, вхо-

дящих в комплекс, относительно стабильна. На участке, пикеты (370)–(242), мощность отдельных прослоев, входящих в комплекс, возрастает, и количество прослоев увеличивается с приближением к бровке террасы (370), при этом мощность осадочных пород увеличивается с 3 м, пикет (242), до 10–12 м, пикет (370). От пикета (370) и до конца профиля (000) (терраса 5–15 м) волновой рисунок георадарного комплекса (1) меняется, он носит нерегулярный характер, субгоризонтальность осей синфазности нарушается как следствие размыва береговых уступов и воздействия эоловых процессов.

Результаты георадарного обследования с применением антенны 50 МГц (рис. 4, а) зафиксировали локальные морфолитодинамические изменения на береговой террасе. Подошва комплекса (1) является кровлей коренных пород (цоколя террасы) (2), верхняя часть которого неоднородна (3),

частично разрушена, имеются характерные радиообразы повышенной трещиноватости, которые отмечены на профиле вертикальными красными линиями.

Террасовый уровень 5–15 м наблюдается практически повсеместно в заливе Касатка, максимальная ширина до 500 м. На аккумулятивной террасе сформирована серия береговых валов (до 13 шт.) шириной до 30 м, относительной высотой до 3–4 м, местами выше, за счет эоловой аккумуляции. Максимальные высоты песчаных дюн 10 м. Сложена терраса преимущественно песчаным материалом, возраст террасы голоценовый [14]. Небольшие участки плоских заболоченных аллювиально-озёрных и лагунно-морских равнин наблюдаются на низменных участках террасы, отдаленных от моря береговыми валами на высотах 5–7 м. Фрагменты георадарных профилей отдельных аккумулятивных террас приведены на рис. 5.

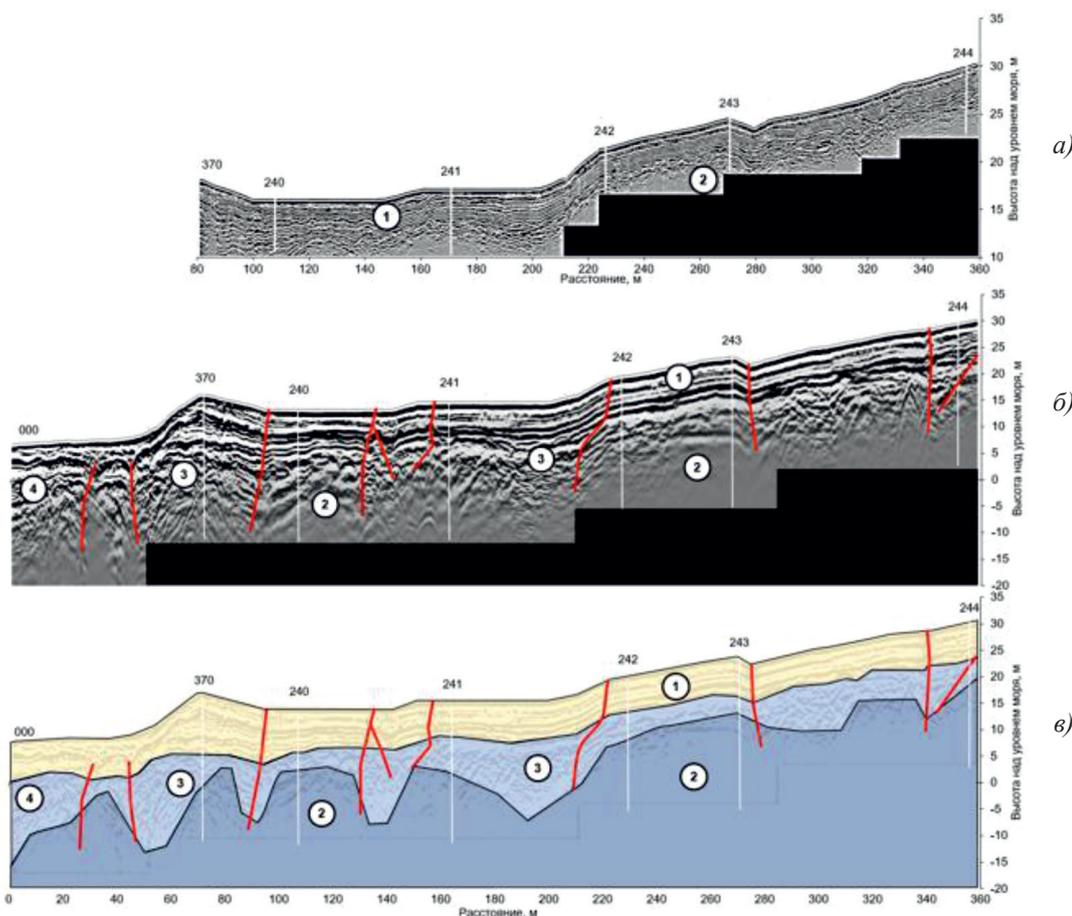
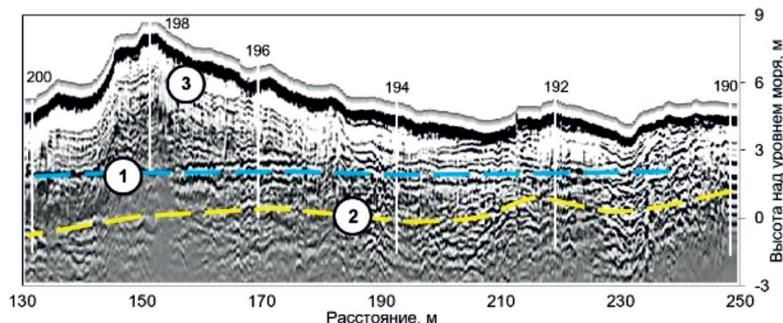
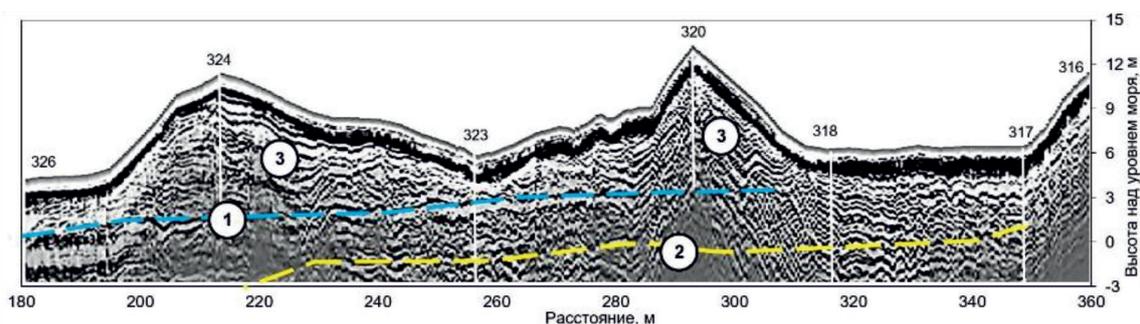


Рис. 4. Терраса 25–40 м, профиль (5) (рис. 1): а) георадарный профиль, фрагмент, центральная частота 300 МГц; б) георадарный профиль, центральная частота 50 МГц; в) профиль с выделением георадарных комплексов; 1 – ППЧ; 2 – коренные породы, цоколь террасы; 3 – сильно разрушенный, трещиноватый цоколь террасы; красные линии – линии разрыва осей синфазности



а)



б)

Рис. 5. Террасы 5–15 м: а) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц, профиль (7) (рис. 1); б) георадарный профиль, центральная частота 300 МГц, профиль (6) (рис. 1); 1 – уровень грунтовых вод; 2 – галька, валуны; 3 – морские пески однородные, слоистые

Главным элементом террасы являются полнопрофильные береговые валы, сложенные пляжевыми наносами. Динамика рельефа террасы весьма высока, зависит от гидрометеорологической обстановки и проявляется в короткопериодичных трансформациях микрорельефа береговой зоны. Наличие регулярных структур на тыльной стороне валов (3) (рис. 5, а, б) подтверждает, что основная тенденция развития таких берегов – редкие эпизоды активного, иногда катастрофического цунамигенного размыва на фоне длительной постепенной аккумуляции пляжевых наносов, сопровождающейся эоловой переработкой песчаных валов. По характеру волновой картины можно выделить границу кровли отмостки (2) и по интенсивной линии синфазности (1) проследить уровень грунтовых вод.

Анализ верхней части георадарных разрезов на террасах 45–60 и 25–40 по результатам измерений антеннами 300 МГц показал, что для пирокластического чехла

с погребёнными почвами характерна довольно четкая субгоризонтальная стратификация в виде горизонтальных осей синфазности отраженных волн (1) (рис. 3, а, 4, а). Фрагмент пирокластического чехла с погребёнными почвами, пикет (329) (рис. 3) с литологической колонкой приведен на рис. 6. В табл. 1 дано описание структуры разреза данного фрагмента. Как видно из рис. 2, 3, а, 4, а, данный георадарный разрез, за исключением георадарного комплекса (2) (рис. 3), характерен для террасы 45–60 м (профили (2), (6), рис. 1) и для большей части террасы 25–40 м (профили (1), (3), (4), (5), рис. 1). Следует отметить, что георадарный комплекс (3) представлен только в одном месте, в районе скалы Чертовка, и может быть интерпретирован как перекрытие пролювиально-селевыми выносами части ППЧ на данном участке берега. Мощность ППЧ на террасах 45–60 м, как и на большей части террасы 25–40 м, составляет 2,5–4 м.

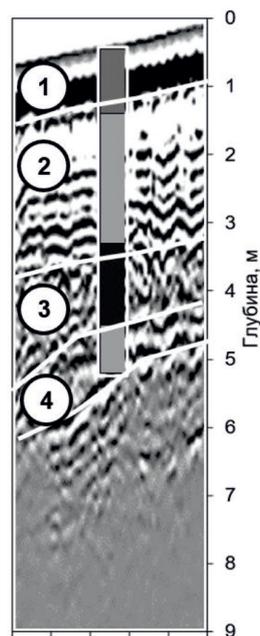


Рис. 6. Фрагмент георадарного профиля (2) (рис. 1), с литологической колонкой у пикета (329) (рис. 3, а), табл. 1

По результатам зондирования методом ОГТ террасы 45–60 м (рис. 7, з) относительная диэлектрическая проницаемость (ϵ) отдельных прослоев ППЧ изменяется в диапазоне 9,4–51,2, а радиолокационная скорость электромагнитной волны (в два раза выше скорости радиоволны в среде) V_p изменяется в диапазоне 2,1–4,9 см/нс, при

этом средняя скорость по разрезу на глубине 3 м составит $V_{\text{рсп}} = 3,1$ см/нс. Наблюдаются влагонасыщенные горизонты на отметках с 1,9 и 3,9 м (рис. 7, з). Данные параметры относительно стабильны вдоль всей трассы георадарного профиля (рис. 3) и в целом для террасы 45–60 м.

Для террас 25–40 м не наблюдается постоянства, как в структуре, так и в мощности осадочных пород. В результате воздействия катастрофических цунамигенных размывов и выноса песчаных фракций, а также эоловых процессов мощность ППЧ увеличивается с приближением к бровке террасы. Расчеты показали, что мощность комплекса с субгоризонтальной структурой ППЧ (рис. 4, а) возрастает от пикета (244) к пикету (370) примерно в три раза, ϵ верхней части ППЧ вдоль профиля изменяется в диапазоне 33,2–41,7, а $\epsilon_{\text{ср}}$ для ППЧ вдоль профиля изменяется в более широком диапазоне 22–45,1 (табл. 2). Изменение V_p от кровли комплекса к подошве зависит от размещения пикета относительно берега. Ближе к бровке террасы V_p в отдельных прослоях может меняться в два раза относительно средней по разрезу (рис. 7, а), что в первую очередь говорит о влажности данного слоя. Чем ближе к тыловому шву террасы, тем V_p становится более равномерной и имеет тенденцию к повышению с глубиной (рис. 7, б). Это может быть результатом цунамигенных размывов и выноса песчаных фракций на часть террасы, примыкающей к ее бровке.

Таблица 1

Геологический разрез, пикет (329)

№	Интервал, м	Мощность, м	Литологическая колонка	Описание пород
1	0–0,92	0,92		Почвы, торфяники с включениями песка и суглинка
2	0,92–2,92	2		Суглинки, буровато-желтые, буровато-серые с прослоями пепла и пемзы
3	2,92–4,19	1,27		Обломочная порода и суглинками
4	4,19–4,68	>0,5		Суглинки буровато-желтые

Таблица 2

Результаты зондирования, пикеты (240)–(244)

Пикет	кровля ППЧ			ППЧ		
	V_p	D	ϵ	$V_{\text{рсп}}$	D	$\epsilon_{\text{ср}}$
	см/нс	см		см/нс	см	
240	2,6	59	33,2	2,7	501	30,9
241	2,4	58	40,0	3,0	371	25,0
242	2,4	74	38,5	3,2	288	22,0
243	2,3	64	41,7	2,4	190	40,9
244	2,5	66	35,6	2,2	172	45,1

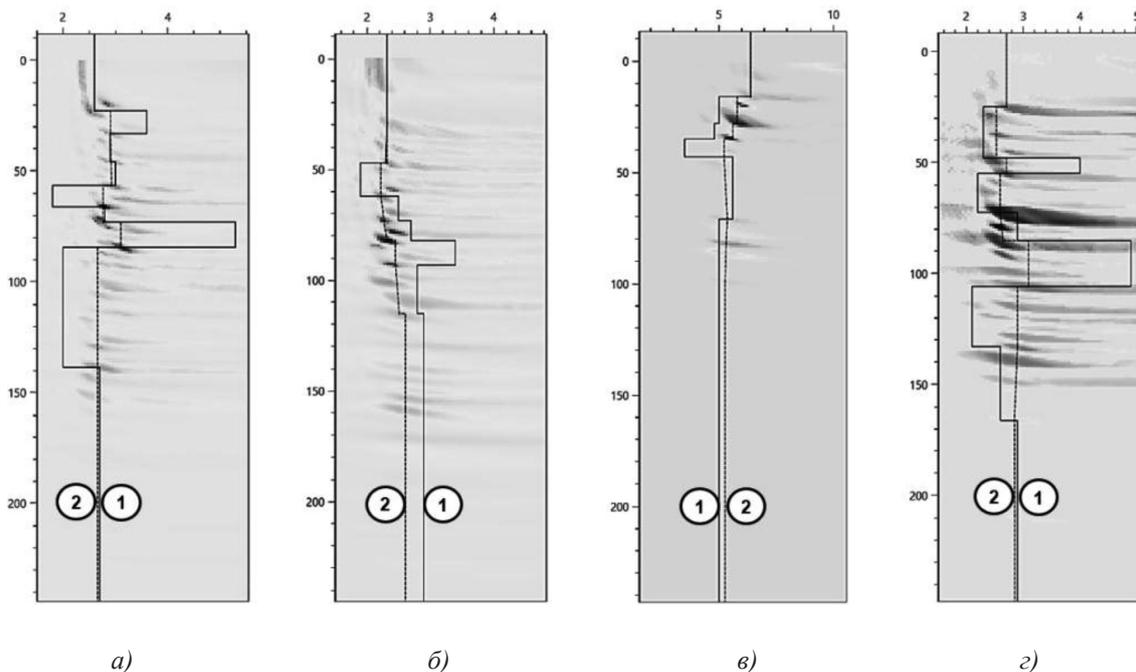


Рис. 7. График радиолокационной скорости распространения V_p в георадарном разрезе: а) пикет (240); б) пикет (243); в) пикет (235); з) пикет (327); 1 – V_p в слое, см/нс; 2 – средняя $V_{p\text{ср}}$ по разрезу, см/нс. Вертикальная ось – время задержки сигнала, нс. Горизонтальная ось – V_p , см/нс

Для террасы 5–15 м скорость V_p (рис. 7, в) в верхних слоях разреза примерно в два раза превышает среднюю скорость для террасы 45–60 м, и если учитывать сопоставимую влажность грунтов верхних слоев разреза террас, то можно утверждать, что увеличение скорости обусловлено увеличением процентного содержания песчаных фракций в грунте. А с увеличением глубины V_p уменьшается в связи с увеличением влажности, как результат близости террасы 5–15 к морю, а поверхности террасы к уровню грунтовых вод.

Заключение

По результатам исследований в заливе Касатка выделено четыре морфогенетических типа берегов: абразионные берега с активными уступами; абразионно-денудационные берега с валунно-глыбовой; денудационные (обвальные) берега с отмершими клифами; аккумулятивные берега. На аккумулятивные берега с галечно-песчаным пляжем полного профиля приходится 49% (кутовые части залива), а на берега абразионного облика – 51% (фланги залива и скала Чертовка).

В заливе Касатка выделены и обследованы террасовые уровни: 100–120, 45–60, 25–40, 5–15, 2–3 м. Совместное использование традиционных геоморфологических

и геофизических методов (георадиолокация) позволило проанализировать геолого-геоморфологическое строение берегов провести оценку мощности осадочного чехла и характер его изменения для террас 45–60, 25–40, 5–15 м.

Результаты георадиолокации показали, что пирокластический чехол с погребенными почвами на террасах 45–60 м имеет субгоризонтальную структуру мощностью от 2,4 м до 5–6 м. Подошва данного комплекса является кровлей коренных пород (цоколя террасы), верхняя часть которых неоднородна, частично разрушена, имеются характерные радиообразы повышенной трещиноватости, которые отмечены на профилях вертикальными красными линиями. Террасы 25–30 и 30–40 м по своему морфологическому облику практически идентичны.

Применение георадиолокации обеспечило: возможность изучения геоморфологического строения берегов на глубинах от десятков сантиметров до десятков метров, определение количественных оценок (ϵ , V_p) и качественных оценок (влажность, трещиноватость, разуплотнение) подповерхностного слоя морских террас.

Комплексирование метода наземной геоморфологической съемки и метода георадиолокации, а также последующее обоб-

щение результатов с применением космических снимков по результатам работ представляются весьма эффективными.

Работы выполнены при поддержке РФФИ, грант № 18-02-00185 и содействии Экспедиционного центра МО РФ и Российского географического общества.

Список литературы

1. Атлас Курильских островов. М.: Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009. 516 с.
2. Afanasiev V.V., Dunaev N.N., Gorbunov A.O., Uba A.V. The manifestation of caldera-forming volcanism in the formation of the sea coast (on the example of Iturup island of the Large Kuril Arc). In: Olegovna C. (eds) Processes in GeoMedia – Volume I. Springer Geology. Springer, Cham. 2020. P. 51–61. DOI: 10.1007/978-3-030-38177-6_7.
3. Жарков Р.В., Козлов Д.Н. Эксплозивное извержение вулкана Иван Грозный в 2012–2013 гг. (остров Итуруп, Курильские острова) // Вестник ДВО РАН, 2013. № 3. С. 39–44.
4. Зенкович В.П., Каплин П.А., Ионин А.С., Медведев В.С. Берега Тихого океана. М.: Наука, 1967. 373 с.
5. Чемяков Ю.Ф. Проблемы четвертичного оледенения Северо-Востока и Дальнего Востока. Л.: ОНТИ ВСЕГЕИ, 1961. С. 120–135.
6. Грабков В.К. Спектры морских террас как отражение плейстоценовых вертикальных движений земной коры северозападного сектора Тихоокеанского подвижного пояса // Труды СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1975. Вып. 3. С. 151–163.
7. Кулаков А.П. Четвертичные береговые линии Охотского и Японского морей. Новосибирск: Наука, 1973. 187 с.
8. Разжигаева Н.Г., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М. Среднеплейстоценовые прибрежные отложения, о. Итуруп, Курильские острова // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 4. С. 48–58.
9. Едемский Д.Е., Едемский Ф.Д., Морозов П.А. Профилирование и определение параметров среды при проведении георадарных обследований // Электромагнитные волны и электронные системы. 2010. Т. 15. № 9. С. 57–63.
10. Дунаев Н.Н., Репкина Т.Ю., Баранская А.В., Афанасьев В.В. Современная динамика аккумулятивного берега, сложенного пирокластикой подводного вулканического извержения // Геосистемы переходных зон. 2019. Т. 3. № 2. С. 237–244. DOI: 10.30730/2541-8912.2019.3.2.237-244.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Курильская. Лист L-55-XXIII, XXIX: Объяснит. записка. 2-е изд. СПб.: ФГУГП СахГРЭ, 2002. 117 с.
12. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 153 с.
13. Едемский Д.Е., Попов А.В., Прокопович И.В., Дегтерев А.В., Рыбин А.В. Опыт георадиолокационного зондирования почвенно-пирокластического чехла юго-восточной части о. Матуа (Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. Вып. 40. № 4. С. 69–81. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-69-81.
14. Razjigaeva N.G., Korotky A.M., Grebennikova T.A., Ganzey L.A., Mokhova L.M., Bazarova V.B., Sulerzhitsky L.D., Lutaenko K.A. Holocene climatic changes and environmental history of Iturup Island, Kurile Islands, northwestern Pacific. Holocene. 2002. Vol. 12 (4). P. 469–480. DOI: 10.1191/0959683602hl549 gp.