

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.54:551.468(265.5:282.257)

### ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭСТУАРИИ РЕКИ БОЛЬШОЙ ВИЛЮЙ (ВОСТОЧНОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ КАМЧАТКИ)<sup>1</sup>

© 2013 г. С. Л. Горин

*Всероссийский научно-исследовательский институт  
рыбного хозяйства и океанографии*

*E-mail: gorinser@mail.ru*

*107140 Москва, ул. Верхняя Красносельская, д. 17*

Поступила в редакцию 05.07.2011 г.

На основе результатов многолетних полевых работ подробно рассмотрены вопросы формирования гидрологического режима и морфологического облика эстуария р. Большой Вилюй, относящегося к подтипу лагунно-озерных эстуариев. Приведено большое количество фактического материала, характеризующего не только сам эстуарий и происходящие в нем процессы, но и природные условия, в которых он существует.

*Ключевые слова:* гидрология, устьевая область реки, эстуарий, водные массы, смешение вод, геоморфология, морские берега, Камчатка.

DOI: 10.7868/S0321059612060053

Отечественная устьевая наука существует с середины прошлого века, и за это время в России и сопредельных странах было изучено большое количество устьевых объектов, в том числе эстуариев [10]. Однако эти исследования почти не затронули лагунно-озерный и лагунно-русловой подтипы эстуариев, которые широко распространены на Дальнем Востоке, и в первую очередь – на Камчатке [11]. Поэтому новые сведения об эстуариях Камчатки могут быть полезны как для решения практических задач, связанных с использованием богатых водных и биологических ресурсов этого края, так и для развития устьевой науки в целом.

Статья посвящена лагунно-озерному эстуарию р. Большой Вилюй. В ней, с одной стороны, дана авторская интерпретация явлений, наблюдаемых в изучаемом объекте, а с другой стороны, приведено большое количество фактического материала, с помощью которого можно составить представление об эстуарии и происходящих в нем процессах.

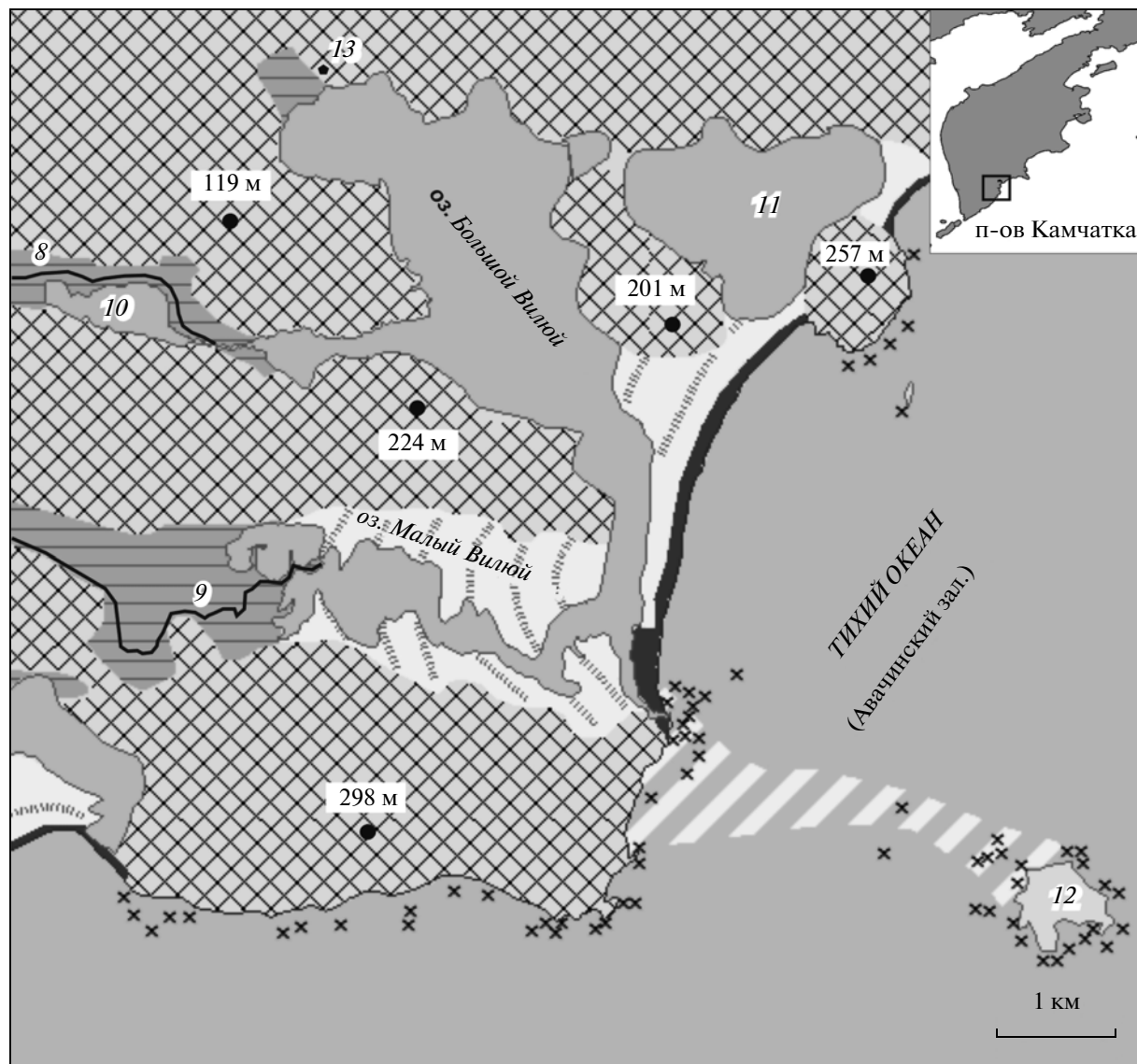
В теоретическом плане работа опирается на определение и классификацию эстуариев, предложенные в [11]. В основе статьи – материалы полевых исследований 2002–2007 гг., проводившихся под руководством автора в рамках научных программ ФГУП “ВНИРО”. Исследования на водных объектах охватили все сезоны года и вы-

полнялись в соответствии с [14]. Пространственно-временная изменчивость уровня воды исследовалась с помощью поплавковых и гидростатических самописцев. Изменчивость температуры, солености, рН воды и содержания в ней растворенного кислорода изучалась посредством многосерийных и разовых станций, разрезов и съемок, выполнявшихся с использованием гидрологических зондов YSI и Hydrolab. Скорость и направление течения воды измерялись механической вертушкой с магнитным компасом. Глубины промерялись эхолотом с GPS.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭСТУАРИИ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

Эстуарий р. Большой Вилюй находится на восточном (Тихоокеанском) побережье Камчатки, на берегу Авачинского зал. (рис. 1). Эстуарий входит в состав общей устьевой области рек Большой Вилюй и Малый Вилюй, состоит из двух эстуарных водоемов (озер Большой Вилюй и Малый Вилюй), а также водотока, соединяющего эти озера с океаном. От Авачинского зал. эстуарий отделен песчаной косой-пересыпью шириной от 100 м в дистальной части до 700 м в прикорневой. Глубина в водоемах мала: в оз. Большой Вилюй она меньше 6–7 м (средняя в летнюю межень – 2.9 м), а в оз. Малый Вилюй – меньше 1–1.5 м (средняя в летнюю межень – 0.5 м). Площадь водной поверхности эстуария – 6.4 км<sup>2</sup>, длина –

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00061).



**Рис. 1.** Геоморфологическая карта-схема района, прилегающего к эстуарию р. Большой Виллой: 1 – возвышенности вулканического плато; 2 – поймы и дельты рек; 3 – морские аккумулятивные террасы с валами; 4 – современные морские аккумулятивные формы (пляжи); 5 – область аккумуляции наносов за о. Старичков; 6 – отметки высот, м БС; 7 – камни и скалы на подводном береговом склоне; 8 – р. Большой Виллой; 9 – р. Малый Виллой; 10 – оз. Лиман; 11 – оз. Пресное; 12 – о. Старичков; 13 – Виллойский лососевый рыбопроизводный завод (Виллойский ЛРЗ).

6.6 км (табл. 1). С эстуарием сообщаются два пресноводных водоема – озера Пресное и Лиман.

В непосредственной близости от эстуария населенные пункты отсутствуют (раньше здесь бы-

ло с. Виллой, но в 1952 г. оно было разрушено цунами). На северном берегу оз. Большой Виллой находится Виллойский лососевый рыбопроизводный завод.

*Рельеф эстуария и его окрестностей*

Эстуарий р. Большой Виллой находится в пределах Восточного вулканического района Камчатки, отличающегося своей высокой сейсмичностью [5]. Эстуарий окружают невысокие (до 200–300 м над уровнем океана) хребты, оставшиеся после разрушения вулканического плато (рис. 1).

Берега восточного вулканического района Камчатки относятся к абразионно-денудационному типу [3]. Берега Восточной Камчатки абрадируются под действием океанской зыби, ветрового волнения и приливов. Развитие склоновых процессов на береговых уступах связано с их приуроченностью к зоне тектонических нарушений, высокой сейсмической активностью побережья, а также климатическими особенностями этого района (большими количеством осадков и продолжительностью периодов с частой сменой положительных и отрицательных температур воздуха). Доля аккумулятивных участков берега, представленных аллювиально-морскими береговыми равнинами, а также современными морскими террасами и пересыпями, в этом районе не превышает 20% [2].

В районе эстуария р. Большой Виллой абразионно-денудационные участки морского берега находятся севернее и южнее косы-пересыпи, отделяющей эстуарий от океана (рис. 1). Эти участки представляют собой отвесные клифы, выработанные в береговых уступах, высотой до 200–300 м. Пляжа у подножия клифов нет, здесь нагромождены обвалившиеся с береговых склонов крупные глыбы и валуны. Аккумулятивный участок морского берега в районе эстуария представлен галечно-песчаной косой-пересыпью.

Подводный береговой склон в районе эстуария — приглубый, в 1.2–1.5 км от берега глубина достигает 20 м. Вблизи разрушаемых участков берега на подводном береговом склоне много камней, рифов и скал (их значительное скопление находится около устья эстуарного водотока; рис. 1). В 3 км от морского берега над поверхностью океана возвышается о. Старичков, в волновой тени которого к оконечности косы-пересыпи тянется широкая отмель.

Берега эстуария р. Большой Виллой — это либо высокие денудационные (в прошлом абразионно-денудационные) уступы, выработанные в склонах прибрежных возвышенностей, либо заболоченные морские и аллювиальные равнины. Берега первого типа характерны для оз. Большой Виллой, второго — для оз. Малый Виллой (рис. 1).

Дно эстуария неоднородно. Так, оз. Большой Виллой занимает относительно глубокую котловину, которая от океана отделяется высоким порогом, образованным, скорее всего, аккумулятивной деятельностью океана. Оз. Малый Виллой и эстуарный водоток находятся на поверхности

**Таблица 1.** Морфометрические характеристики эстуария р. Большой Виллой

Часть эстуария	Площадь поверхности, км <sup>2</sup>	Длина, км	Средняя ширина, км	Объем*, тыс. м <sup>3</sup>
Оз. Большой Виллой	4.3	3.8	1.1	12488
Оз. Малый Виллой	1.4	3.8	0.35	670
Эстуарный водоток	0.7	2.7	0.25	344
Весь эстуарий	6.4	6.6	—	13501

\* Соответствует низким малым водам квадратурного отлива в летнюю межень.

морской террасы, их дно — плоская аккумулятивная равнина, прорезанная эрозионной ложбиной. На своем устьевом участке русло эстуарного водотока врезано в поверхность современного морского пляжа. Необходимо отметить две важные особенности рельефа дна эстуария. Во-первых, отметки дна во внутренних (относительно глубоководных) частях эстуария ниже, а в эстуарном водотоке — выше минимального уровня в Авачинском зал. Во-вторых, предполагается [4, 15] существование термальных источников на дне эстуария обусловлено тем, что по долине р. Большой Виллой, через оз. Лиман и далее на восток проходит линия тектонического нарушения северо-западного простирания [13].

Донные отложения в глубоководной части оз. Большой Виллой представлены водонасыщенными черными илами с сильным запахом сероводорода. Толстый слой ила залегает и на дне оз. Малый Виллой, но запах сероводорода здесь значительно слабее. В направлении к океану содержание ила в озерных отложениях уменьшается, а песка — увеличивается. В эстуарном водотоке грунты состоят из морского песка с ракушкой. Почти все дно эстуария (кроме его наиболее глубоководной части) покрыто зарослями zostеры.

*Климат, гидрологический режим рек и прибрежной части Авачинского залива*

Климат на побережье Авачинского зал. — морской умеренный, влажный [7]. Интенсивная циклоническая деятельность над Беринговым морем обуславливает продолжительную, умеренно холодную, многоснежную, ветреную, с периодическими оттепелями зиму. Антициклогенез над Беринговым и Охотским морями определяет короткое, умеренно теплое, облачное, с туманами и морозящими дождями лето. Из-за охлаждающего влияния Тихого океана весна на побережье затяжная, с неустойчивой погодой: теплые и солнечные

дни нередко сменяются пасмурными и холодными. Осень короткая, но погода в это время года устойчивая, преобладают малооблачные, теплые и сухие дни. В отдельные дни возможны обильные осадки. Зима продолжается 4.5–5 мес. (с середины ноября до первой половины апреля), весна – 2.5–3 мес., лето – 2.5–3 мес. (со второй половины июня до второй половины сентября), осень – 1.5–2 мес.

Средняя годовая температура воздуха в районе эстуария  $\sim 2.1^{\circ}\text{C}$  (метеостанция (м/с) Петропавловска-Камчатского [12]). Наиболее холодные месяцы года – январь и февраль ( $-7.5^{\circ}\text{C}$  в среднем за месяц), самый теплый – август ( $13.2^{\circ}\text{C}$ ). Зимой, особенно в ее начале, нередко бывают дни с положительной температурой воздуха. Безморозный период в среднем длится 5 мес. (с середины мая до середины октября). Температура воздуха переходит через  $0^{\circ}\text{C}$  в середине апреля и начале ноября. В течение суток температура воздуха изменяется мало: зимой и летом в среднем на  $2.0\text{--}2.5^{\circ}\text{C}$ , весной и осенью на  $2.5\text{--}3.0^{\circ}\text{C}$ . Максимальная за сутки температура воздуха обычно бывает в 15 или 18 ч, а минимальная – в 6 или 9 ч (зимой экстремумы наступают позже, чем летом). Летом, в дни с выраженной бризовой циркуляцией, максимум температуры воздуха приходится на 10–11 ч, так как позже начинается перенос холодного воздуха с океана.

Осадки на побережье Авачинского зал. весьма обильные – за год выпадает  $\sim 1300$  мм, из них по 40% – в жидком и твердом виде, 20% – в смешанном (м/с Петропавловска-Камчатского [12]). Жидкие осадки выпадают с апреля по декабрь, твердые – с октября по май. Наибольшее количество осадков приходится на начало зимы (в ноябре – 158 мм), наименьшее – на начало лета (в июне – 64 мм). Зимой в сильные снегопады может выпасть до 150 мм осадков в сутки [7]. Снежный покров появляется в последних числах октября, через две недели он становится устойчивым, сходит – к середине мая. В начале зимы нередко выпадение смешанных осадков (“ливневого снега”). Для района характерна большая высота снежного покрова – на защищенных участках до 1.5–2.0, в низинах до 3 м и более [7].

Истоки рек, впадающих в эстуарий, находятся на склонах вулкана Вилучинский и г. Виллой. В питании рек преобладают талые и подземные воды, большая часть речного стока проходит в теплое время года. Основная фаза водного режима – весенне-летнее половодье. Ориентировочные расчеты показали, что модуль стока в бассейне эстуария р. Большой Виллой составляет  $\sim 32$  л/с  $\text{км}^2$ ; средний годовой расход воды Большого Виллюя  $\sim 2.1$ , Малого Виллюя  $\sim 0.8$   $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\sim 0.7$   $\text{м}^3/\text{с}$  в эстуарий поступает из ручьев. На спаде половодья приток речной воды в эстуарий составляет 3.5–

4.5  $\text{м}^3/\text{с}$ . Температура речной воды в июле–августе достигает  $\sim 10^{\circ}\text{C}$  и более, а минерализация не превышает 20–40 мг/л.

В окрестностях эстуария р. Большой Виллой (на берегу оз. Лиман) есть термальный источник. Режим Лиманского источника имеет выраженную сезонность [4]: максимум дебета приходится на осень (1.6 л/с в октябре 1965 г.), минимум – на конец зимы (0.2 л/с в марте 1966 г.). Температура воды в источнике изменяется от  $17\text{--}18^{\circ}\text{C}$  в марте–июне до  $22\text{--}24^{\circ}\text{C}$  в сентябре–октябре. В [4, 15] предполагается наличие термальных источников и на дне оз. Большой Виллой.

Приливы в Авачинском зал. смешанные: в сизигию – неправильные суточные с продолжительным стоянием высокого уровня, в квадратуру – неправильные полусуточные (величиной  $\sim 2.0$  и 1.0 м соответственно). Температура воды в прибрежной части залива изменяется от  $-1.5^{\circ}\text{C}$  в феврале до  $\sim 12^{\circ}\text{C}$  в конце августа – начале сентября, в среднем за год она составляет  $\sim 4^{\circ}\text{C}$  [1]. Соленость воды в заливе летом уменьшается до 25–28‰, а зимой увеличивается до 32‰. Океан у берегов Авачинского зал. очень редко бывает спокойным; даже если нет ветра, его поверхность взволнована зыбью. На восточном побережье Камчатки среднемноголетний поток энергии зыби на три порядка больше потока энергии ветровых волн, поэтому первый фактор влияет на морские берега сильнее второго [3]. Штормовая активность в Авачинском зал. имеет сезонный характер: наибольшая повторяемость значительного и сильного волнения характерна для начала зимы, а наименьшая – для лета. Максимальные высоты волн, которые были зафиксированы в прибрежной части залива, достигали 5–7 м и отмечались в декабре и январе [1]. Поскольку в районе эстуария режимные наблюдения за уровнем океана никогда не проводились, то количественную оценку ветро-волновых нагонов дать нельзя. Опираясь на свидетельства местных жителей, можно говорить лишь о том, что в конце осени и начале зимы уровень океана заметно выше, чем летом.

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Коса-пересыпь (далее “пересыпь”), отделяющая эстуарий от Авачинского зал., состоит из двух частей: северной (более древней и широкой) и южной (молодой и узкой). В рельефе северной части пересыпи хорошо выражены две генерации береговых валов (более 10), вытянутых вдоль морского берега параллельно друг другу. Возраст валов, оцененный с помощью тефрохронологии [17], увеличивается от моря в сторону суши, причем наиболее древний вал образовался более 3000 лет назад. Все это указывает на то, что в масштабе не-

скольких тысячелетий пересыпь расширялась в сторону моря.

Если судить по внешним морфологическим признакам (дистальный конец пересыпи ориентирован на юг, около оконечности пересыпи находится значительное скопление морских наносов; рис. 1), то можно сделать вывод, что пересыпь образовалась благодаря вдольбереговому потоку наносов в Авачинском зал., направленному с севера на юг. Но автор все же склоняется к мысли, что в формировании этой аккумулятивной формы (по крайней мере в последние столетия) роль вдольберегового потока наносов второстепенна по отношению к поперечному поступлению материала с подводного берегового склона. Такой вывод основан на отсутствии современного удлинения пересыпи, о чем можно уверенно говорить на основе сравнения карт и космических снимков за последние 50 лет. Если это предположение правильно, то современное положение устья эстуарного водотока связано с тем, что это место находится в “тени” о. Старичков, защищающего устье от морского волнения и переносимых им наносов. Благодаря этому (а не дельтевому потоку наносов) пересыпь ориентирована на юг. Следовательно, при сохранении современных гидродинамических условий положение устья эстуария останется неизменным.

Учитывая, что в составе пересыпи нет валов, сформировавшихся в течение некоторых, довольно длительных промежутков времени (например, с ~250 по 1907 г.), в истории ее развития должны были быть периоды деградации. Выявленные с помощью георадарной съемки несогласия в геологическом строении пересыпи позволяют предположить, что периоды деградации пересыпи могут быть связаны со случаями одномоментных опусканий суши, сопровождающимися сильнейшими землетрясения [8].

Помимо разнонаправленных вертикальных движений земной коры, рельеф пересыпи преобразуют волны цунами, возникающие в результате сильных землетрясений. Так, в результате цунами 1952 г. была разрушена дистальная часть древней пересыпи, а на ее месте образовался молодой (“южный”) участок, верхняя граница которого хорошо видна по перегибу на гребне пересыпи (“северный” участок выше “южного” на 1.5 м).

Опрос местных жителей показал, что почти ежегодно устье эстуария полностью заносится морскими наносами. Чаще всего это случается во время сильных осенне-зимних штормов в Авачинском зал. В этом случае устье эстуария остается заблокированным вплоть до начала половодья, когда уровень воды в эстуарии быстро повышается и “плотина” в его устье прорывается. Таким образом, эстуарий почти каждую зиму оказывается изолированным от Авачинского зал. на срок до

3–5 мес. В теплое время года штормовые замывы устья эстуария случаются относительно редко и продолжаются недолго.

Судя по характеру рельефа и гранулометрическому составу донных отложений, в пределах эстуария активно осаждаются наносы различного происхождения: приморская часть эстуария заполняется галькой и крупным морским песком, ближайшие к устьевым створам реки части эстуария заносятся мелким речным песком, а в глубоководной части оз. Большой Виллюй осаждаются большое количество автохтонного органического вещества. Вероятно, что в отдаленном будущем (при условии отсутствия значительного повышения уровня океана) эстуарий может полностью заполниться отложениями.

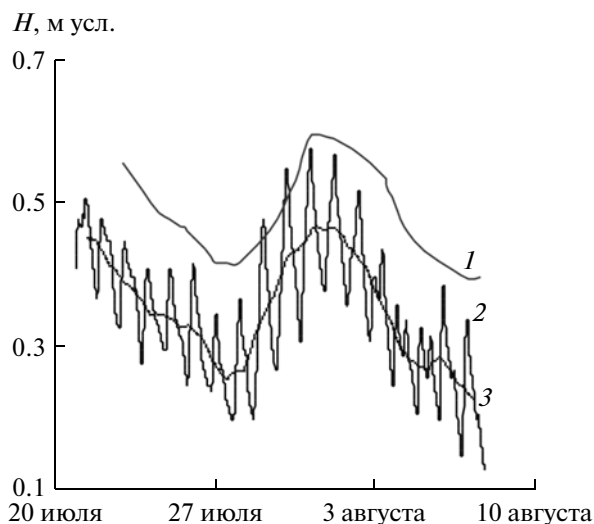
### ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В [9] было предложено разделять устьевые гидрологические процессы на контактные (локализованные в зоне непосредственного соприкосновения водных масс разного происхождения) и неконтактные (распространяющиеся за пределы этой зоны). Согласно этому подходу, к “контактным” относятся все процессы, связанные с движением и смешением водных масс в эстуариях; к “неконтактным” — процессы распространения в эстуариях длинных волн речного и морского происхождения, под влиянием которых формируется уровенный режим эстуариев.

#### *Уровенный режим эстуария (неконтактные процессы)*

Полевые исследования автора показали, что уровенный режим эстуария р. Большой Виллюй определяется сезонными колебаниями речного стока, а также полумесячными и суточными приливными циклами в океане. Влияние многолетней изменчивости речного стока и уровня океана на гидрологический режим эстуария не рассматривалось ввиду отсутствия данных. При анализе сезонной изменчивости уровня воды в эстуарии использовалась его стоковая составляющая, величина которой для каждой конкретной даты определялась как среднее арифметическое между средними приливными уровнями в сизигию и квадратуру, соседние с этой датой. Величины среднего приливного уровня рассчитывались методом 25-часового скользящего осреднения рядов наблюдений. Эта характеристика служила для рассмотрения полумесячной (приливной) изменчивости уровня воды в эстуарии. Суточная (приливно-отливная) изменчивость уровня изучалась по рядам непрерывных наблюдений, полученных с помощью самописцев.

В безледный период (с начала июня до начала декабря) в эстуарии р. Большой Виллюй можно



**Рис. 2.** График колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллюй в 2004 г.: 1 — уровень воды в 6.6 км от устья эстуария, 2 — в 1.2 км от устья эстуария; 3 — средний приливный уровень воды в 1.2 км от устья эстуария.

выделить интервалы времени с повышенным и пониженным уровнем воды, связанные с основными фазами водного режима впадающих в него рек. Половодье в эстуарии начинается в первой половине июня, когда из-за притока талых вод с речных водосборов сток воды в эстуарии начинает быстро повышаться. Спустя 7–10 дней он достигает своего максимума (на 0.2–0.5 м выше исходной величины), а затем также быстро падает. Заканчивается половодье в первой декаде июля, его общая продолжительность составляет 15–30 сут. В июле–сентябре в эстуарии наблюдается устойчивая летняя межень, изредка прерываемая небольшими дождевыми паводками. В этот период сток воды в эстуарии на ~0.2 м ниже, чем перед началом половодья, и на 0.4–0.7 м ниже, чем на его пике. В октябре–ноябре наступает период осенних паводков, связанный с увеличением количества выпадающих осадков. Подъем уровня воды во время летних и осенних паводков обычно не превышает 0.1–0.2 м, однако после особенно сильных дождей сток воды в эстуарии может достигнуть максимума половодья. В период ледостава (с начала декабря до конца мая) сток воды в эстуарии на 0.2 м выше, чем в летнюю межень.

Таким образом, благодаря сезонной неравномерности речного стока сток воды в эстуарии р. Большой Виллюй в течение года изменяется не более чем на 0.7–0.8 м. Не исключено, что в отдельные годы эта величина может достигать 1 м или немногим более. Отметим, что вели-

чины сезонных (стоковых) колебаний уровня воды одинаковы в пределах всего эстуария.

Можно выделить три морфологических фактора, определяющих характер и величину сезонных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллюй. Во-первых, это присутствие на речных водосборах рыхлых вулканических отложений — демпфера, перераспределяющего часть выпавших осадков с многолетних периодов года на маловодные. Во-вторых, это относительно большая аккумуляющая емкость самого эстуария, амортизирующая колебания водности рек (средний суточный приток речной воды не превышает 2% объема эстуария). В-третьих, это небольшая площадь эстуария, способствующая хорошей гидравлической связи между его отдельными частями (по крайней мере в отношении длинных волн паводков).

Помимо сезонных (стоковых) колебаний уровня, в безледный период во всем эстуарии хорошо заметна его полумесячная (фазовая) и суточная изменчивость, связанная с приливами в Авачинском зал. (рис. 2).

В безледный период величина полумесячных (фазовых) изменений уровня воды внутри эстуария почти не меняется и составляет 0.1–0.2 м. В периоды половодья и значительных паводков полумесячная изменчивость уровня меньше, чем в периоды летней и осенней межени, поскольку в это время более выраженные стоковые колебания уровня “поглощают” приливные.

Полумесячное неравенство среднего приливного уровня воды в эстуарии связано с приливной накачкой, которая в эстуарии р. Большой Виллюй проявляется следующим образом. Между квадратурой и сизигией, когда величина приливов в Авачинском зал. с каждым днем становится все больше, приходная составляющая водного баланса эстуария (сумма притоков речной и морской воды за весь приливный цикл) превышает расходную. Поэтому вода в эстуарии накапливается, уровень воды в нем растет. При переходе от сизигии к квадратуре, когда величина морских приливов уменьшается с каждым днем, процесс становится обратным — расходная составляющая превышает приходную, объем воды в эстуарии срабатывается, уровень падает. Величина полумесячных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллюй столь велика, что в большей ее части равна или даже превосходит величину суточных колебаний (рис. 2). В результате, в эстуарных водоемах отметки низких малых вод (НМВ) в сизигии могут быть выше отметок высоких полных вод (ВПВ) в квадратуре.

Суточные колебания уровня воды в эстуарии в основном определяются характеристиками приливов в Авачинском зал., поэтому их максимальные величины наблюдаются в сизигию, а мини-

**Таблица 2.** Характеристики суточных колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Виллой в летний период (июль—август 2004 г.)

Участок	Величины приливов, м		Средние коэффициенты затухания приливов
	сизигия	квадратура	
Авачинский зал.	1.9	0.8	—
Эстуарный водоток (1.2 км*)	0.25	0.12	0.14
Оз. Большой Виллой (6.6 км)	0.03	0.01	0.01

\* Расстояние от устья эстуария.

мальные — в квадратуру (рис. 2, табл. 2). Из данных табл. 2 видно, что, несмотря на относительно слабое влияние речного стока и малые размеры эстуария, суточные приливные колебания уровня воды в нем очень интенсивно затухают. Так, в период летней межени их величина уже в 1.2 км от устьевого створа в 6 раз меньше, чем в Авачинском зал. (табл. 2).

Наблюдения, проведенные автором в период летней межени и сизигийных приливов, показали, что >80% величины приливной волны затухает в устье эстуария и нижней части эстуарного водотока (табл. 3, рис. 3). Вероятнее всего, это обусловлено двумя морфологическими причинами: большими уклонами дна в эстуарном водотоке и превышением отметок его дна над уровнем малых вод в Авачинском зал. Столь значительное затухание приливной волны в устье и нижней части эстуарного водотока характерно и для других эстуариев полуострова, например — эстуариев рек Большая и Камчатка. Но там, в отличие от эстуария р. Большой Виллой, приливная волна затухает благодаря наличию подводного устьевого бара, а также большому расходу стоково-отливного потока, вытекающего из эстуарного водотока в море.

На участке эстуарного водотока между 0.7 и 1.2 км от устьевого створа находится вход в оз. Ма-

лый Виллой. Дно здесь имеет небольшой уклон, а русло резко расширяется. По-видимому, значительное затухание приливной волны на этом участке эстуария обусловлено рассеиванием приливной энергии, одна часть которой “уходит” в оз. Малый Виллой, а другая — в оз. Большой Виллой.

В результате интенсивного затухания приливной волны в эстуарном водотоке до озер доходит <15% ее исходной величины. В водоемах суточная приливная волна затухает окончательно, рассеиваясь на их обширных (относительно размеров эстуарного водотока) акваториях.

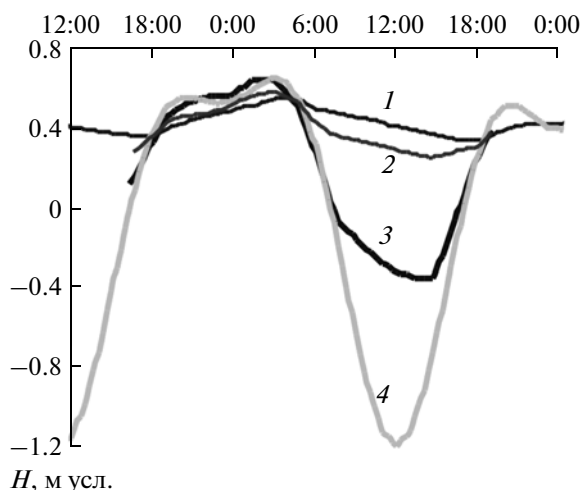
Из-за небольших размеров эстуария и отсутствия в нем значительных стоковых течений, сосредоточенных в руслах сколь-нибудь протяженных водотоков, приливная волна в нем практически не перекашивается — продолжительность приливной и отливной фаз остается той же, что и в Авачинском зал. В сизигию фаза прилива длится от 10 до 12 ч, а фаза отлива — от 14.5 до 12.5 ч соответственно (в зависимости от того, куда попадает редуцированный малый прилив — на подъем или на спад большого прилива).

Об уровненом режиме эстуария в период ледостава в настоящее время можно судить только по единичным измерениям и косвенным данным. Это объясняется технической сложностью определения зимних отметок уровня воды: во-первых, лед у берегов эстуария нередко ложится на дно, во-вторых, на поверхности и внутри льда образуются мощные прослойки воды, которые изливаются в пробуренные лунки и тем самым маскируют истинное положение уровня воды. На основе имеющихся сведений можно говорить лишь о следующем: в период ледостава (при небожированном устье эстуария) средний приливный уровень воды в эстуарии выше, чем летом; в этот период приливные колебания уровня воды (по крайней мере суточные) ощущаются во всем эстуарии; приливные колебания уровня воды оказывают некоторое воздействие на формирование ледяного покрова эстуария.

В связи со сказанным следует остановиться на особенностях ледовых явлений в эстуарии р. Боль-

**Таблица 3.** Характеристики затухания приливной волны в эстуарии р. Большой Виллой в период летней межени и сизигийных приливов (июль—август 2004 г.)

Участок эстуария	Границы участков — расстояния от уреза воды в Авачинском зал. в НМВ, км	Величина затухания на участках, см	Интенсивность затухания, см/100 м
Устье эстуария (на поверхности отливной осушки океана)	0—0.3	87	30
Нижняя часть эстуарного водотока	0.3—0.7	66	17
Вход в оз. Малый Виллой	0.7—1.2	12	2.4
Верхняя часть эстуарного водотока и оз. Большой Виллой	1.2—6.6	18	0.3



**Рис. 3.** График колебаний уровня воды в эстуарии р. Большой Вилюй с 31 июля по 31 августа 2004 г. 1, 2, 3 — уровень воды в 1.2, 0.7 и 0.3 км от устья эстуария соответственно; 4 — предвычисленный уровень воды в Авачинском зал.

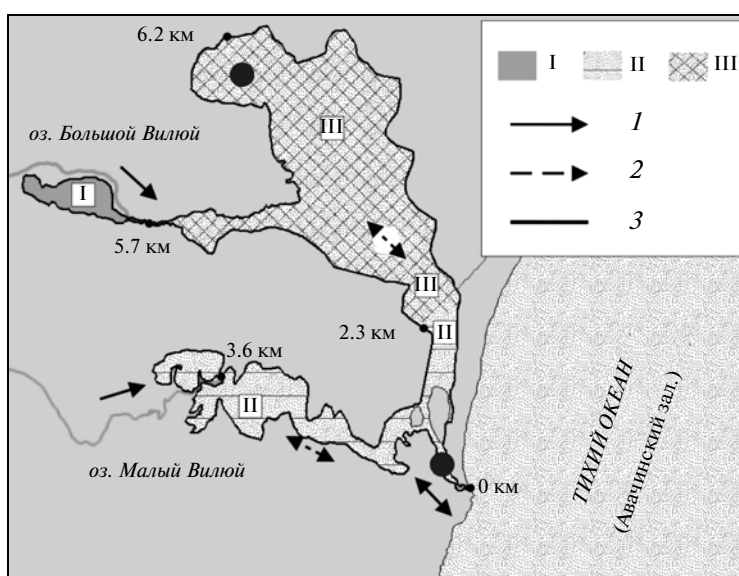
шой Вилюй. В холодное время года на его поверхности формируется мощный снежно-ледяной покров, максимальная толщина которого достигает 1.5–2.0 м. Обычно лед на акватории эстуария формируется из водонасыщенного снега, чему способствует частое выпадение осадков (в том числе смешанных), а также выход воды на снежно-ледяную поверхность из-за приливов и проседания льда. Благодаря этому лед нарастает снизу

вверх в течение всей зимы, и к весне его мощность становится больше той, которую можно было бы ожидать исходя из климатических характеристик восточного побережья Камчатки. Кристаллический лед в эстуарии образуется только в начале зимы и лишь в случае ясной и морозной погоды. Весной лед в океан не выносятся, он тает внутри эстуария, способствуя опреснению его вод.

Большую часть года уровень воды в эстуарии р. Большой Вилюй закономерно реагирует на колебания речного стока и уровня воды в Авачинском зал. В периоды, когда устье эстуария полностью блокируется морскими наносами (чаще всего зимой), морские факторы перестают влиять на эстуарий, а относительное влияние речных факторов, наоборот, резко усиливается. В это время в эстуарии накапливается речная вода, поэтому уровень воды в нем повышается: постепенно — при низком речном стоке, резко — на подъеме речного половодья или паводков. Если устье эстуарного водотока остается заблокированным на подъеме половодья, то максимальный подъем уровня воды в эстуарии может достигать 1–1.5 м над меженным горизонтом.

#### *Динамика и смешение водных масс (контактные процессы)*

*T-S*-анализ результатов гидрологических съемок показал, что в эстуарии р. Большой Вилюй, помимо первичных водных масс (речной и морской), присутствуют и вторичные, которые заполняют котловину оз. Большой Вилюй (рис. 4).



**Рис. 4.** Районирование эстуария р. Большой Вилюй по гидрологическим условиям (в ситуации, характерной для периода летней межени и сизигийных приливов). Зоны распространения ВМ: I — речных, II — морских, III — вторичных (озерных); А, Б — станции длительных наблюдений за гидрологическими характеристиками; стоковые и стоково-отливные течения: 1 — в руслах водотоков, 2 — в водоемах; 3 — граница эстуария; 6.2 км... — расстояния от устья эстуария (0 км).



Оз. Малый Виллюй и эстуарный водоток заполнены смешанными водами различного происхождения, лишь частично трансформированными под действием внутренних и внешних процессов (рис. 4).

**Водообновление в эстуарии.** Ориентировочные расчеты, основанные на измеренных характеристиках водообмена через речную и морскую границы эстуария, показали, что в относительно глубоководном и удаленном от устья эстуария оз. Большой Виллюй вода обновляется в среднем за 3 мес. (с учетом смешения), а в мелководном и близком к устью эстуария оз. Малый Виллюй — за 1–2 недели. В случае “замыва” устья эстуарного водотока период водообновления в обоих водоемах может увеличиться на несколько месяцев. Здесь следует сделать два замечания. Во-первых, используемое в дальнейшем определение “длительная трансформация водных масс” в отношении оз. Большой Виллюй условно и имеет смысл только в сравнении с аналогичными процессами в некоторых других эстуариях полуострова, где водные массы (ВМ) задерживаются не более чем на 1–2 сут. Во вторых, период обновления смешанных вод в оз. Малый Виллюй значительно больше приливных суток, поэтому вода в этом озере успевает заметно трансформироваться. Но сильная изменчивость гидрологических характеристик в оз. Малый Виллюй все же не позволяет говорить о формировании в нем собственных ВМ.

**Соотношение влияний речных и морских факторов на внешний водообмен эстуария.** Во время экспедиции 2004 г. была проведена 25-часовая серия наблюдений за изменчивостью основных гидрологических характеристик (скорость и направление течения, температура, соленость и уровень воды) в эстуарном водотоке. На основе полученных результатов, а также по имеющимся данным измерений уровня воды в различных частях эстуария были рассчитаны приближенные характеристики внешнего водообмена эстуария для всего полумесячного приливного цикла. Оказалось, что летом в эстуарии р. Большой Виллюй приток морской воды за приливную фазу в 1.5–4 раза больше притока речной воды за весь приливный цикл, т.е. в этом смысле морские приливы сильнее влияют на эстуарий, чем речной сток (табл. 4).

По-видимому, в исследуемом эстуарии преобладание морской воды в суммарном притоке сохраняется в течение всего года, за исключением периодов блокирования устья эстуария и короткого отрезка времени на пике половодья. Сезонную изменчивость относительного влияния речных и морских факторов на эстуарий можно оценить исходя из общих соображений. Относительное влияние речных факторов должно быть максимальным в конце весны — начале лета, когда объем речного стока значительно больше летнего. И

**Таблица 4.** Характеристики внешнего водообмена эстуария р. Большой Виллюй за приливный цикл 31 июля — 01 августа 2004 г.

Характеристика	Величина
Величина прилива в Авачинском зал., м	1.84
Расход речной воды (реки Большой Виллюй и Малый Виллюй), м <sup>3</sup> /с	3.5
Объем притока речной воды за приливный цикл, тыс. м <sup>3</sup>	313
Объем притока морской воды за приливную фазу, тыс. м <sup>3</sup>	966
Доли речной и морской воды в суммарном объеме притока, %	24 и 76
Суммарный объем притока воды за приливный цикл, тыс. м <sup>3</sup>	1279
Объем стока воды через эстуарный водоток за отливную фазу, тыс. м <sup>3</sup>	1130
Результирующая водного баланса за приливный цикл, тыс. м <sup>3</sup>	+149

наоборот, абсолютное преобладание морских факторов должно приходиться на начало зимы — период низкого речного стока, высоких приливов в Авачинском зал. и частых морских нагонов. Эти предположения подтверждаются тем, что к началу лета вода в глубоководной части эстуария заметно опресняется, а к концу зимы, наоборот, осолоняется.

Для оценки соотношения ролей речного стока и морских приливов во внешнем водообмене эстуариев применяют так называемый приливный параметр Симмонса:  $\alpha = Q\tau/P_i$ , где  $Q\tau$  — объем речной воды, поступившей в эстуарий за период  $\tau$  прилива ( $Q$  — средний за это время расход речной воды),  $P_i$  — объем приливной призмы, т.е. воды, входящей в эстуарий в период от малой воды при отливе до полной воды при приливе [18]. Ввиду ограниченности необходимых данных, для эстуария р. Большой Виллюй можно оценить только полумесячную изменчивость параметра Симмонса. Приблизительные расчеты показали, что на спаде половодья максимальное влияние речного стока приходится на период убывающих и минимальных приливов до и во время квадратуры ( $\alpha \sim 0.4$ – $0.5$ ), а минимальное — на период растущих и максимальных приливов до и во время сизигии ( $\alpha$  — от 0.2 до 0.3).

**Движение водных масс.** Речная вода поступает в эстуарий из рек Большой Виллюй и Малый Виллюй. В оз. Большой Виллюй она смешивается с поверхностной ВМ, причем размеры зоны смешения (ЗС) зависят от величины речного стока: весной ЗС охватывает весь залив, вытянутый от устьевого створа одноименной реки до центральной части озера, а в конце лета она локализуется в

вершине этого залива. Оз. Малый Виллой целиком входит в зону смешения речной и морской водных масс, фронт которой перемещается в связи с сезонными колебаниями речного стока (в половодье — к выходу из озера, в межень — к его вершине).

Морская ВМ проникает в эстуарий только в приливную фазу. В период ВПВ она полностью занимает эстуарный водоток и втекает в оба озера. В оз. Большой Виллой морская ВМ смешивается с поверхностной и частично — с придонной ВМ, а в оз. Малый Виллой — с несколько трансформированной смесью речной и морской воды, поступившей в озеро в предыдущие приливы. В течение года дальность проникновения морской ВМ в эстуарий р. Большой Виллой изменяется в зависимости от величины речного стока (весной она примерно на 1 км меньше, чем зимой; рис. 5). При переходе от сизигии к квадратуре дальность проникновения морской воды почти не изменяется, поскольку она зависит не от величин морских приливов, а от высот их ВПВ, которые в сизигию и квадратуру очень близки (в Авачинском зал. величина приливов изменяется благодаря соответствующему изменению высоты малых вод).

Для последующего анализа трансформации ВМ в оз. Большой Виллой принципиальное значение имеет вопрос о том, достигают ли морские воды его глубоководной части. На продольных профилях распределения солености воды, построенных по результатам нескольких съемок эстуария, этого не видно: судя по ним, морская ВМ начинает смешиваться с поверхностной еще на входе в озеро (рис. 5). Но данные рейдовых наблюдений свидетельствуют о том, что, во-первых, соленость придонной ВМ в озерной котловине сильно изменяется в течение года (с минимумом в конце осени и максимумом в конце зимы), во-вторых, максимальная соленость и соотношение основных ионов у придонной водной массы и зимней воды в Авачинском зал. одинаковы. Из этого следует, что водная масса у дна озера периодически обновляется, причем в теплый период года, при повышенном речном стоке, она пополняется опресненной водой, а в холодный — соленой. Зимнему притоку морских вод (при свободном устье эстуария) благоприятствуют низкий речной сток, наличие ледяного покрова на акватории эстуария, а также уменьшение аккумулирующей емкости эстуария из-за промерзания мелководий в эстуарном водотоке и оз. Малый Виллой. Перечисленные обстоятельства уменьшают потери приливной энергии на сопротивление встречному стоковому потоку, препятствуют полному перемешиванию морской ВМ при ее втечении в мелководную часть оз. Большой Виллой и способствуют концентрации приливного потока в узком русле стоково-приливной ложбины в эстуарном водотоке.

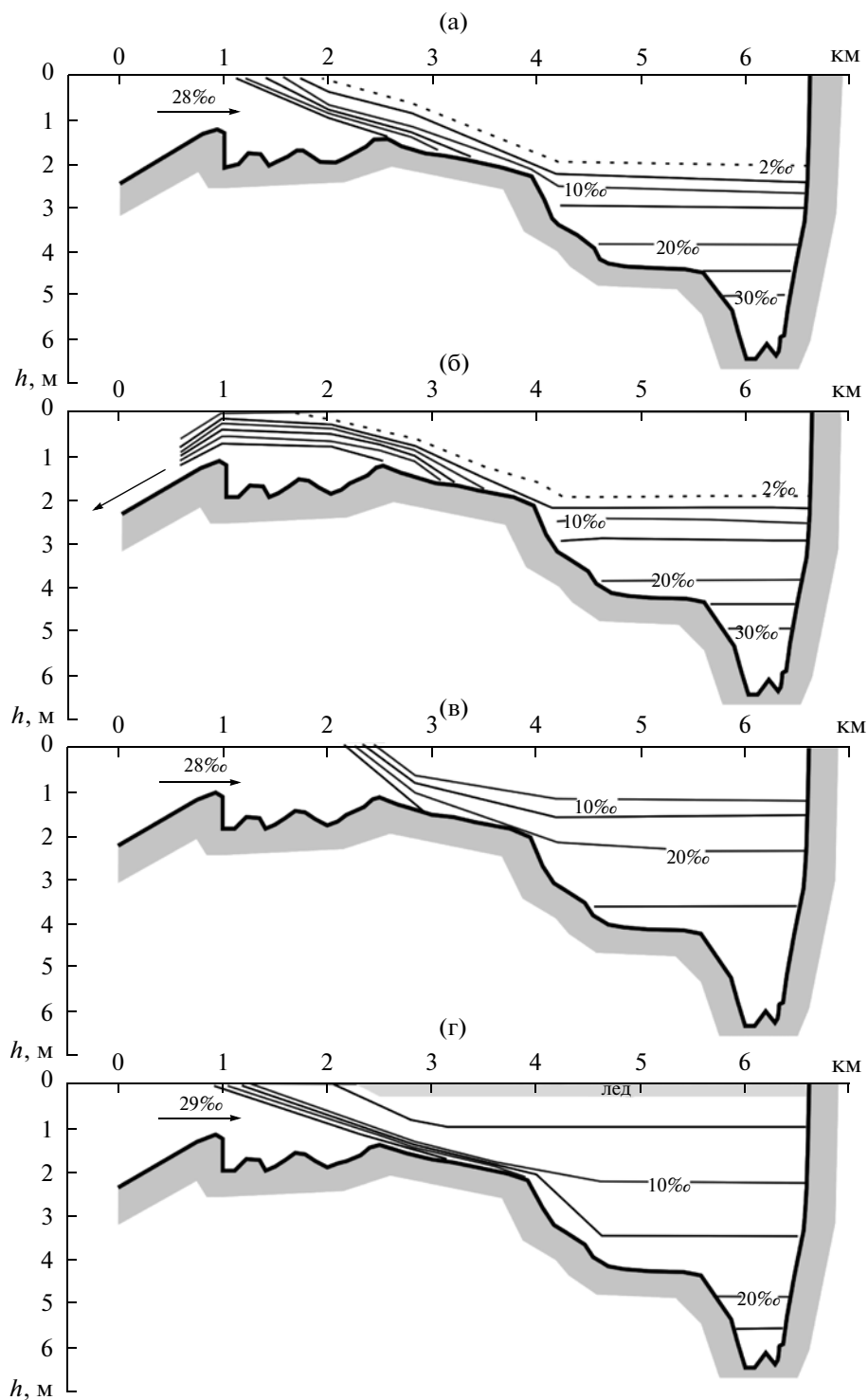
**Смешение водных масс.** В эстуарии р. Большой Виллой можно выделить два вида смешения ВМ, различия между которыми проявляются в форме зависимостей между температурой и соленостью воды (рис. 6).

Первый вид смешения преобладает в эстуарном водотоке, в котором водные массы перемещаются в виде направленного потока. В этом случае зависимость между температурой и соленостью воды на  $T-S$ -диаграмме имеет в целом прямолинейный характер, хотя все точки и не ложатся на одну прямую. Второй вид смешения характерен для оз. Большой Виллой, в котором смешивающиеся водные массы находятся одна под другой. Здесь одновременно со смешением происходит внутримассовая трансформация водных масс под действием энерго- и массообмена с атмосферой и дном, характер и интенсивность которых не одинаковы в различных слоях водной толщи. В описываемом случае зависимость между температурой и соленостью воды на  $T-S$ -диаграмме становится криволинейной (рис. 6).

Смешение ВМ в эстуарии происходит под действием их приливного и стоково-отливного движения, а также ветрового волнения. Первые два процесса действуют круглогодично во всем эстуарии, последний — только в безледный период, при этом в оз. Большой Виллой он ограничен верхним 1.5-метровым слоем водной толщи, а в других частях эстуария распространяется до дна. Роль конвекции в смешении различных по своему происхождению ВМ в исследуемом эстуарии вряд ли значительна: в эстуарном водотоке и оз. Малый Виллой она подавляется фрикционным перемешиванием, а в оз. Большой Виллой она маловероятна из-за устойчивой плотностной стратификации ВМ, которая на протяжении всех сезонов года поддерживается огромными различиями в их солености. При этом возможно, что в период осеннего и зимнего охлаждения именно конвекция способствует перемешиванию воды внутри отдельных ВМ и в этом смысле может считаться важным фактором трансформации эстуарных вод.

Формальный критерий типа смешения ВМ — параметр стратификации  $n = \Delta S / S_{\text{ср}}$ , где  $\Delta S = S_{\text{дно}} - S_{\text{пов}}$ ,  $S_{\text{ср}} = 0.5(S_{\text{дно}} + S_{\text{пов}})$ ,  $S_{\text{дно}}$  и  $S_{\text{пов}}$  — соленость воды у дна и на поверхности. Согласно [16], случаю хорошего перемешивания по вертикали отвечает условие  $n < 0.1$ , частичного перемешивания —  $n$  от 0.1 до 1.0, слабого перемешивания (“клин” осолоненных вод, или устойчивая стратификация) —  $n$  от 1.0 до 2.0.

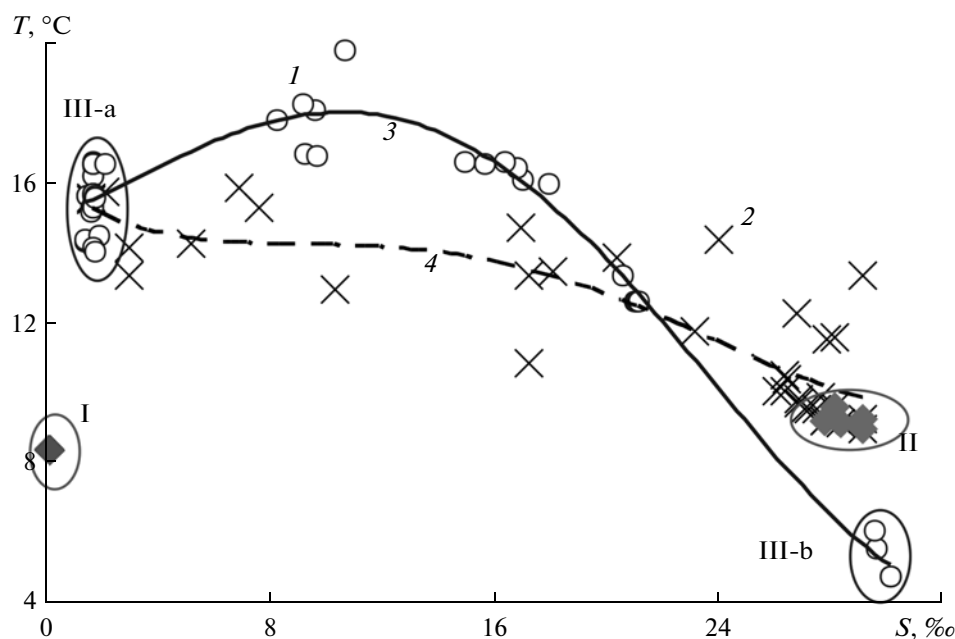
В котловине оз. Большой Виллой в безледный период стратификация вод всегда устойчивая ( $n$  от 1.0 до 2.0; табл. 5). Максимальная величина  $n$  характерна для периода весеннего половодья, когда благодаря притоку пресной воды  $\Delta S$  может до-



**Рис. 5.** Сезонное распределение солёности воды в продольном сечении эстуария р. Большой Вилой от Вилойского ЛРЗ до устья эстуария: а, б – на спаде весеннего половодья, сизигийные прилив и отлив 10 июля 2002 г.; в – в период летней межени, сизигийный прилив 3 августа 2004 г.; г – в период зимней межени, сизигийный прилив 3 декабря 2006 г.

стигнуть 30‰. После половодья из-за постепенного ветрового и приливного перемешивания водных масс величина  $n$  уменьшается и к концу осени достигает своего минимума для безледного

периода. В начале ледостава, когда тонкий слой льда защищает толщу воды от ветра, стратификация может снова усилиться. Однако к середине зимы вся опресненная вода из верхних горизон-



**Рис. 6.**  $T$ - $S$ -диаграмма ВМ в эстуарии р. Большой Вилюй (сизигийный прилив 10 июля 2002 г.). ВМ: I – речная, II – морская, III-a – поверхностная, III-b – придонная. Измерения: 1 – в оз. Большой Вилюй (2.5–6.6 км от устья); 2 – в эстуарном водотоке (0–2.5 км от устья). Кривые смещения вод (полиномы 4-й степени): 3 – в котловине оз. Большой Вилюй, 4 – в эстуарном водотоке и приморской части оз. Большой Вилюй.

тов озера переходит в снежно-ледяной покров, а в оставшейся подо льдом воде с высокой соленостью – стратификация умеренная ( $n < 1.0$ ; табл. 5). Приливных (суточных и полумесячных) изменений параметра  $n$  в озерной котловине нет. Это связано с большой аккумулирующей емкостью оз. Большой Вилюй, в которой доля объема приливной призмы  $< 5\%$ .

В эстуарном водотоке, в отличие от озерной котловины, преобладает суточная изменчивость параметра  $n$ . В прилив через поперечное сечение водотока перемещаются хорошо перемешанные морские воды ( $n < 0.1$ ), а в отлив в обратном направлении стекают частично перемешанные ( $0.1 < n < 1.0$ ) воды из эстуарных водоемов. На пике весеннего половодья в отлив возможно возникновение клина осолоненных вод ( $1.0 < n < 2.0$ ): в этот период по дну эстуарного водотока из озер в океан стекают зимние высокосоленные воды, а в

поверхностном слое текут почти неминерализованные талые воды.

**Динамика водных масс в эстуарном водотоке.** Закономерности процессов взаимодействия водных масс в эстуарии станут более понятными, если рассмотреть их действие на отдельных участках эстуария, в частности в эстуарном водотоке.

Створ наблюдений в эстуарном водотоке находился в 0.5 км от устья эстуария; наблюдения проводились в период летней межени и сизигийных приливов (31 июля–01 августа 2004 г.). В этот день НМВ в эстуарном водотоке наступили на 2.5 ч позже, чем в Авачинском зал. В момент их наступления через поперечное сечение эстуарного водотока в океан стекали хорошо перемешанные осолоненные воды. Затем по мере подъема уровня воды в Авачинском зал. расход прямого (в сторону океана) потока в эстуарном водотоке уменьшался, а спустя 3 ч после НМВ направление тече-

**Таблица 5.** Характеристика степени перемешивания ВМ в котловине эстуария р. Большой Вилюй

Характеристики	Начало ледостава (03 декабря 2006 г.)	Ледостав (25 марта 2007 г.)	Половодье (29 июня 2007 г.)	Осенняя межень (15 сентября 2007 г.)
Толщина льда, м	0.3	1.5	нет	
Параметр стратификации $n$	1.4	0.5*	1.9	1.1
Характеристика перемешивания	Устойчивая стратификация	Частичное перемешивание	Устойчивая стратификация	Устойчивая стратификация

\* К концу зимы поверхностная ВМ была полностью выморожена и в жидком виде не существовала.

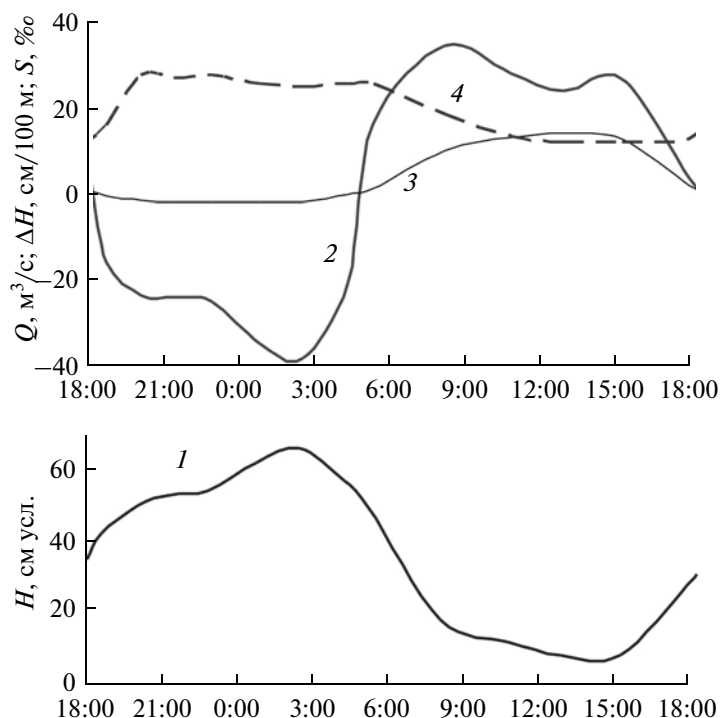


Рис. 7. Совмещенный график суточного изменения гидрологических характеристик в эстуарном водотоке (ст. А на рис. 4) с 31 июля по 1 августа 2004 г.: 1 – уровень воды, м усл.; 2 – расход воды, м<sup>3</sup>/с; 3 – падение уровня воды, см/100 м; 4 – соленость воды, ‰.

ния одновременно на всех горизонтах повернуло в сторону суши. Еще через 1.5 ч в поперечном сечении водотока появились морские воды и соленость в створе наблюдений достигла своего суточного максимума (рис. 7). От момента поворота течений в обратную сторону до наступления ВПВ расход обратного течения непрерывно возрастал, через поперечное сечение водотока внутрь эстуария двигались хорошо перемешанные морские воды с неизменной соленостью. ВПВ в эстуарном водотоке и в Авачинском зал. наступили одновременно.

Сразу же после начала отлива расход обратного течения стал быстро уменьшаться, и уже через 2 ч после ВПВ течение снова повернуло в сторону залива. Начиная с этого момента через поперечное сечение эстуарного водотока в океан стали стекать смешанные воды, соленость которых закономерно уменьшалась по мере сработки объема вод в эстуарии. Максимальный расход прямого течения отмечался между ВПВ и НМВ. В дальнейшем вплоть до наступления НМВ уровень воды и расход прямого течения постепенно уменьшались.

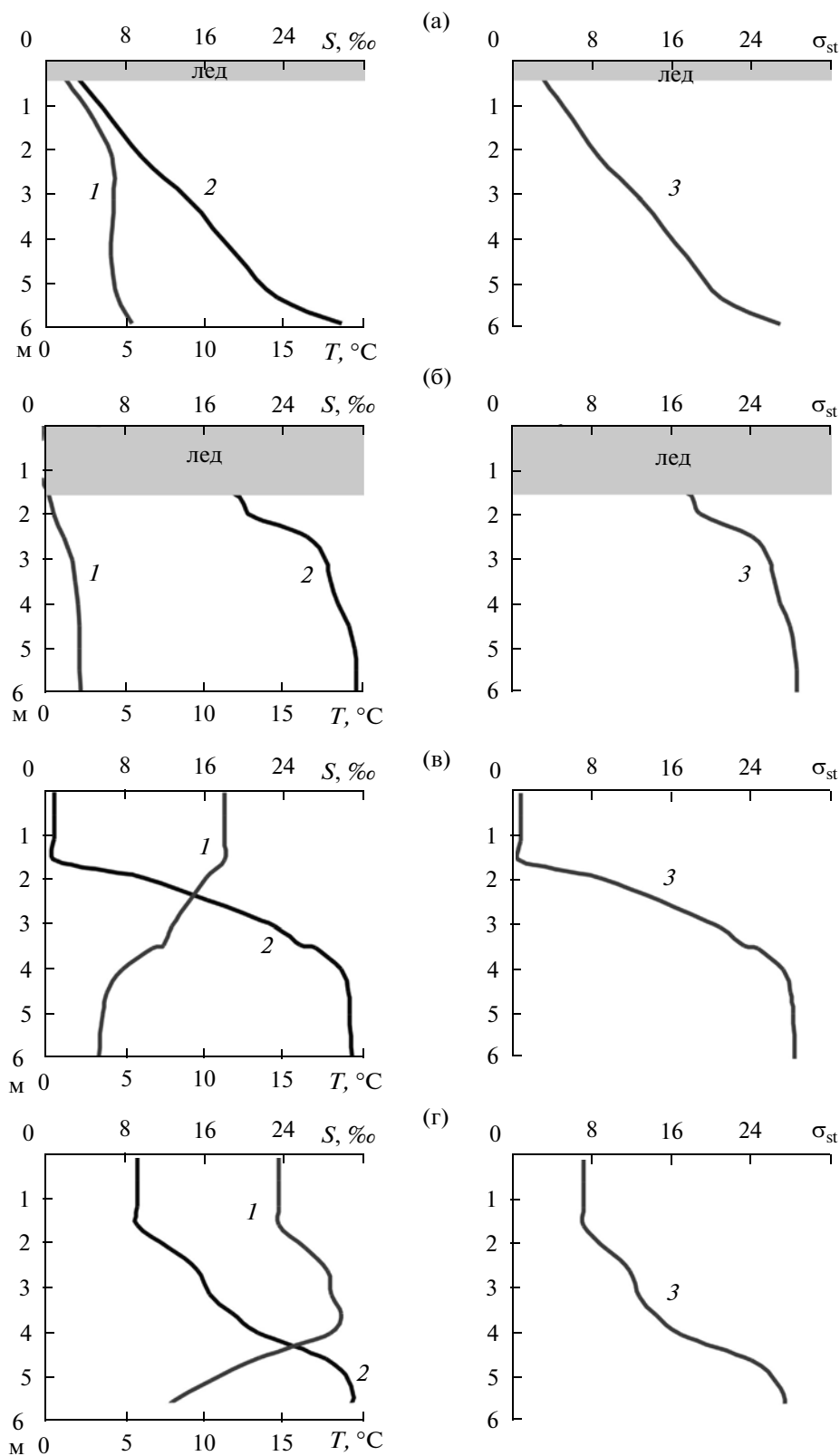
Главные черты приливной изменчивости скорости течения воды следующие: на всех горизонтах ее направление в период прилива меняется с прямого на обратное и наоборот; смена течений на всех горизонтах происходит одновременно;

скорость течения у поверхности всегда больше, чем у дна (вне зависимости от направления течения); максимальная величина прямой скорости (0.85 м/с) почти в два раза больше максимума обратной скорости (0.46 м/с).

**Трансформация ВМ в котловине оз. Большой Виллой.** Начальной точкой годового гидрологического цикла следует считать начало ледостава (первые числа декабря), когда вся водная толща в озерной котловине перемешана и в ней нельзя определить границу между поверхностной и придонной водными массами (рис. 8). В начале зимы распределение солености и условной плотности воды по глубине представляет собой наклонную прямую, которая в другие сезоны характерна лишь для слоя скачка, разделяющего поверхностную и придонную ВМ.

Зимой опресненная вода из верхнего слоя постепенно вымораживается, поэтому поверхностная ВМ в жидком виде перестает существовать. Придонная ВМ, наоборот, активно формируется, пополняясь свежей морской водой. В течение всей зимы соленость придонной ВМ повышается (до 30–32‰), температура понижается (до 2°C), а вертикальное распределение этих характеристик выравнивается (рис. 8).

В начале гидрологической весны (в середине мая) на реках поднимается волна половодья, а 1.5-метровый снежно-ледяной покров на поверх-



**Рис. 8.** Сезонное распределение солёности  $I$ , температуры  $2$  и условной плотности  $3$  воды в глубоководной части оз. Большой Вилуй (ст. Б на рис. 4): а – в начале зимней межени (3 декабря 2006 г.), б – в конце зимней межени (25 марта 2007 г.), в – на пике половодья (29 июня 2007 г.), г – в осеннюю межень (15 сентября 2007 г.).

ности эстуария начинает таять. Роль снежно-ледяного покрова в формировании поверхностной ВМ может быть сопоставима с ролью речного стока: снег и лед тают внутри эстуария, что дает почти такой же объем пресной воды, какой реки приносят в эстуарий за целый месяц на спаде половодья. В верхнем слое эстуария появляется опресненная вода, и начинает формироваться поверхностная ВМ (рис. 8). В водоеме устанавливается устойчивая плотностная стратификация, сохраняемая благодаря большим градиентам солености воды ( $S$  поверхностной ВМ — 1–2‰, придонной ВМ >30‰). К концу климатической весны (во второй половине июня) поверхностная и придонная ВМ представляют собой однородные объемы хорошо перемешанных вод с выраженным слоем скачка между ними.

В течение всего лета поверхностная ВМ поглощает солнечную радиацию, благодаря ветру и приливам перемешивается с морской и придонной водными массами (при одновременном уменьшении притока речной воды), поэтому ее температура и соленость повышаются до 15–18°C и 8–10‰ соответственно (рис. 8). Непрерывное ветровое перемешивание способствует тому, что характеристики поверхностной ВМ в летний и осенний периоды однородны по глубине, а ее толщина остается постоянной (~1.5 м). Придонная ВМ из-за ветрового перемешивания с поверхностной ВМ и существенного ограничения притока свежей морской воды летом становится теплее (до 8–10°C) и немного опресняется (до ~28‰), при этом ее верхняя граница постепенно заглубляется с ~3.5 до ~5 м.

Интересно отметить, что летом и осенью максимум температуры воды в озере часто заглублен и находится в слое скачка плотности, на границе раздела поверхностной ВМ и придонной ВМ (рис. 8). Это явление, по-видимому, связано с аккумуляцией солнечной энергии под поверхностной ВМ, которая защищает нижние слои водоема от охлаждающего влияния морского воздуха (“парниковый эффект” в соленых озерах [6]).

Ко второй половине осени (к ноябрю) слой скачка между вторичными водными массами опускается до дна озерной котловины и придонная ВМ теряет свои пространственные очертания (рис. 8). С началом ледостава верхний слой водоема перестает перемешиваться ветром, поэтому поверхностная ВМ утрачивает однородность и также теряет свои контуры. В результате к началу ледостава водная толща в котловине оз. Большой Виллой перестает разделяться на две водные массы, гидрологический год завершается.

Автор выражает глубокую признательность А.А. Попрядухину (МГУ), Е.В. Шульгиной и Ю.В. Сорокину (ВНИРО) за участие в полевых исследованиях, а также В.Н. Михайлову, К.К. Эдель-

штейну (МГУ) и Е.А. Кравчуновской (ИВиС ДВО РАН) за ценные консультации.

## ВЫВОДЫ

Обобщение полевых данных, собранных за шесть лет работы в эстуарии р. Большой Виллой, позволило выявить главные закономерности гидролого-морфологических процессов в этом объекте. Гидрологический режим эстуария находится под совместным влиянием речного стока и океанских приливов, поэтому основные гидрологические характеристики — уровень, температура и соленость воды — изменяются в нем с сезонной (стоковой), а также полумесячной и суточной (приливной) периодичностью. Типологическая особенность эстуария р. Большой Виллой заключается в том, что из-за слабой проточности этого объекта и наличия в нем замкнутой котловины в его внутренних районах существуют две вторичные водные массы — поверхностная (опресненные воды) и придонная (осолоненные воды) со слоем скачка между ними. Вторичные водные массы образуются в результате смешения и длительной внутримассовой трансформации первичных — речных и морских — вод. Благодаря наличию вторичных водных масс в эстуарии сформировались две зоны смешения: первая находится в приморской части эстуария, где между собой контактируют речная, морская и поверхностная водные массы; вторая разделяет поверхностную ВМ и придонную ВМ в эстуарной котловине. Характеристики первой зоны смешения изменяются с сезонной, полумесячной и частично суточной периодичностью, характеристики второй — только с сезонной.

В эстуарии р. Большой Виллой очень значительна роль ледяного покрова. С одной стороны, за шесть месяцев его существования в эстуарной котловине формируется придонная ВМ с высокой соленостью. С другой стороны, весеннее таяние 1.5-метровой толщи льда и снега способствует формированию опресненной поверхностной ВМ.

Из всех морфологических процессов на гидрологический режим эстуария сильнее всего влияет периодическое блокирование его устья морскими наносами, которое почти ежегодно случается в начале зимы после сильных штормов в океане. Благодаря этому связь между эстуарием и океаном может быть прервана на несколько недель или даже месяцев, что способствует более глубокой трансформации водных масс в эстуарной котловине.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас — краткая характеристика гидрологического режима вод, омывающих Камчатку. Петропав-

- ловск-Камчатский: Петропавловская гидрометеорол. обсерватория, 1970. 60 с.
2. Берега Тихого океана / Под ред. Зенковича В.П. М.: Наука, 1967. 375 с.
  3. *Бобыкина В.П.* Современный абразионный процесс на океанских берегах Камчатки // Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке. М.: ГЕОС, 2000. С. 373–377.
  4. *Горшков А.П.* Термопроявления на озере Большой Виллюй // *Вопр. географии Камчатки*. 1967. Вып. 5. С. 140–143.
  5. *Горячев А.В.* Камчатские землетрясения 4 мая и 18 июля 1959 г. и геологические условия их возникновения // *Бюл. Совета по сейсмологии АН СССР*. 1960. № 11. С. 32–44.
  6. *Егоров А.Н.* Парниковый эффект в соленых озерах // *Вод. ресурсы*. 1991. № 6. С. 31–37.
  7. *Кондратьев В.И.* Климат Камчатки. М.: Гидрометеоздат, 1974. 200 с.
  8. *Кравчуновская Е.А., Горин С.Л.* Формирование и динамика блокирующих аккумулятивных форм в лагунных эстуариях Камчатки // *Учение о развитии морских берегов: вековые традиции и идеи современности*. Матер. конф. / Отв. ред. Гогоберидзе Г.Г., Жиндарев Л.А., Карлин Л.Н., Оганова С.А. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. С. 216–218.
  9. *Луначев Ю.В.* Динамическое взаимодействие морских и речных вод в приливных устьях рек // *Тр. ГОИН*. 1984. Вып. 172. С. 64–82.
  10. *Михайлов В.Н.* Гидрологические процессы в устьях рек. М.: ГЕОС, 1997. 175 с.
  11. *Михайлов В.Н., Горин С.Л.* Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // *Вод. ресурсы*. 2012. Т. 39. № 3. С. 243–257.
  12. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. СПб.: Гидрометеоздат, 2001. Ч. 1–6. Вып. 27. 597 с.
  13. *Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.Н.* Гидрогеотермические условия одного из вулканических районов Камчатки (г. Петропавловск-Камчатский). М.: Наука, 1965. 95 с.
  14. Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометеоздат, 1972. 393 с.
  15. *Фишман О.А., Бооль В.Б.* Гидрохимическое обследование озера Виллюй в связи с замором рыбы весной 1934 г. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 1934. 4 с.
  16. *Hansen D.V., Ratray M.* New dimensions in estuary classification // *Limnol. and oceanogr.* 1966. V. 11. № 3. P. 319–326.
  17. *Ponomareva V.V., Churikova T.G., Melekestsev I.V. et al.* Late Pleistocene-Holocene Volcanism on the Kamchatka Peninsula, Northwest Pacific region // *Volcanism and Subduction: The Kamchatka Region* / Eds. Eichelberger J., Gordeev E., Kasahara M. et al. 2007. V. 172. P. 165–198.
  18. *Simmons H.B.* Some effects of upland discharge on estuarine hydraulics // *Proc. Amer. Soc. Civil Engrs.* 81. Sep. paper 792. 1955. P. 1–20.