

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.438.5+504.433

doi: 10.26907/2542-064X.2023.3.467-485

УСЛОВИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ И ПРЕСНЫХ ВОД В СИСТЕМЕ ПРИБРЕЖНЫХ ОБВОДНЕННЫХ КАРЬЕРОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ

*Д.А. Домнин¹, Г.С. Михневич², Д.С. Вершинин³, К.В. Карманов⁴,
Е.И. Гмыря²*

¹Институт океанологии имени П.П. Шишова РАН, г. Москва, 117218, Россия

²Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
г. Калининград, 236016, Россия

³ООО «Калининградская гидрогеология», г. Калининград, 236029, Россия

⁴ГБУ КО «Балтберегозащита», г. Светлогорск, 238560, Россия

Аннотация

На западном побережье Калининградской области находятся карьеры по добыче янтаря. Один из них действующий, а другие – обводненные за счет подземных вод – пруд Янтарный и цепь пляжевых приморских карьеров. В статье рассмотрены объективные предпосылки возникновения интрузии и инфильтрации морских вод в обводненные карьеры через водоносные горизонты, обеспечивающие их связь с прибрежной частью моря. Посредством анализа картографической информации и данных спутниковой радиальной съемки прослежены изменения геоморфологических форм и морфометрических характеристик водосборной поверхности в результате карьерной выработки – уменьшение площади водосбора, изменения гидрологической сети, образование новых водных объектов. Три водоносных горизонта обеспечивают подземное питание водных объектов, разгрузку в море, а также взаимосвязь с действующим карьером и водоснабжением муниципального Янтарный. Результаты полевых гидрологических работ выявили большую минерализацию вод пруда Янтарный по сравнению с прочими пресными водоемами района исследования, а также локальную придонную аномалию высокоминерализованных вод. Уровень воды в пляжевых обводненных карьерах находится выше уровня моря, и при этом они имеют различные значения минерализации, показывающие их переходное состояние от пресных водоемов суши к морским.

Ключевые слова: интрузия, обводненный карьер, озеро, пруд, водосбор, добыча янтаря, Янтарный, Балтийское море, Калининградская область.

Введение

Взаимосвязь морских вод с подземными водами прилегающих территорий суши – одно из проявлений общего процесса взаимодействия поверхностных и подземных вод. В этом явлении наряду с естественным стоком вод с суши в море существует и обратный процесс – внедрение (интрузия или инфильтрация) морских вод в подземные водоносные горизонты.

Интрузия морских вод в подземные горизонты происходит в том случае, если плотность гидравлически связанных с ними подземных вод меньше плотности морских [1], а уровень морских вод таков, что обеспечивает горизонтальный градиент давления в сторону суши. Процесс интрузии заметно интенсифицируется в случае значительного отбора подземных вод для хозяй-

ственно-бытовых нужд и ведения экономической деятельности. В результате этого формируются глубокие (40–50 м) депрессионные воронки с радиусом до 100 км, которые создают необходимые гидравлические условия для усиления интрузии морских вод [2, 3].

В зоне контакта пресных подземных вод и соленых морских возникает переходная область, где минерализация воды изменяется от пресной к типичной для морской воды [4]. Однако для возникновения интрузии необходим набор факторов, способствующих ее возникновению: гидрогеологическое строение территории, метеорологический режим, степень интенсивности водозабора [5]. На территории Калининградской области извлечение подземных вод не только вызывает понижение их уровня и формирование депрессионных воронок, но и изменяет перераспределение элементов их баланса [6]. А создание подземных водозаборов и интенсивная откачка пресных подземных вод в прибрежных районах могут спровоцировать процесс интрузии соленых вод в пресноводные подземные горизонты и вызвать трудно устранимое загрязнение подземных источников водоснабжения.

По сути, во всех прибрежных населенных пунктах Калининградской области водоснабжение населения осуществляется из подземных источников [7]. Соответственно, с одной стороны, интрузия морских вод приводит к тому, что происходит засоление горизонтов, из которых осуществляется водозабор для питьевых нужд [8], а с другой – интенсивный водозабор, превышающий естественное восполнение, может влиять на снижение подпитки и, соответственно, уменьшение объемов вод других водных объектов (рек, озер), связанных с эксплуатируемыми водоносными горизонтами.

Объектом исследования является система прибрежных обводненных карьеров, расположенных на западном побережье Самбийского полуострова Калининградской области. Эти водоемы образовались на месте открытой добычи янтаря, основным источником их питания являются подземные воды. Максимальные глубины карьеров, находящиеся ниже уровня моря, близкое приморское положение в совокупности с некогда проводимой и современной эксплуатацией недр и наблюдения за химическим балансом, проведенные ранее [9], дают возможность предположить существование взаимосвязи обводненных карьеров как между собой, так и с морскими водами через поверхностный сток и подземные водоносные горизонты.

1. Исследуемая территория

На западном побережье Самбийского полуострова Калининградской области в Янтарном городском округе расположены обводненные карьеры, образовавшиеся на месте добычи янтаря (рис. 1). Развитие этих водных объектов и прилегающей к ним территории во многом обусловлено не только природными условиями, но и хозяйственной деятельностью.

В основе процессов взаимодействия морских, поверхностных и подземных вод в первую очередь лежит история освоения данной территории человеком и преобразование ее геоморфологических форм. Поэтому для понимания современных условий, на основе картографической информации за период 1920–2022 гг., проанализированы исторические изменения данной территории.

Интенсивное использование местности (рис. 2, а) началось в середине XIX в., когда было выявлено первое на территории Восточной Пруссии месторождение янтаря – Пальменикенское, а в 1912 г. к северу от г. Пальменикена (ныне пос. Янтарный), в 1.5 км к востоку от морского берега, был заложен глубокий – до 50 м – карьер (рис. 2, б) для открытой разработки янтаря [10, 11].

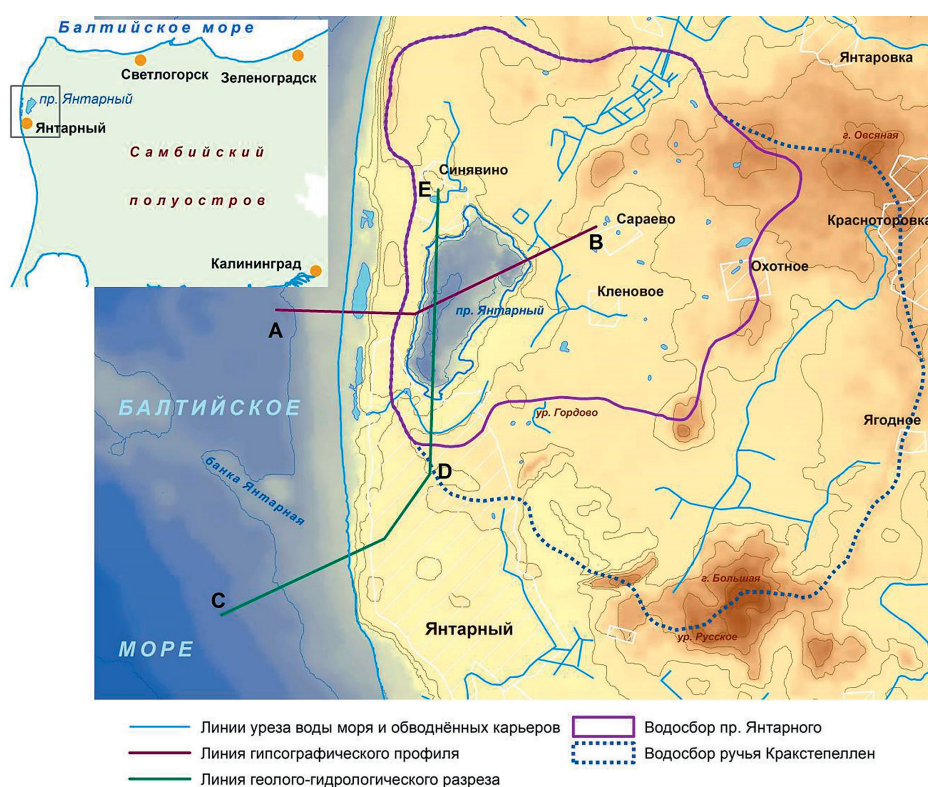


Рис. 1. Пруд Янтарный, его водосборная территория, прибрежные обводненные карьеры на схеме рельефа земной поверхности

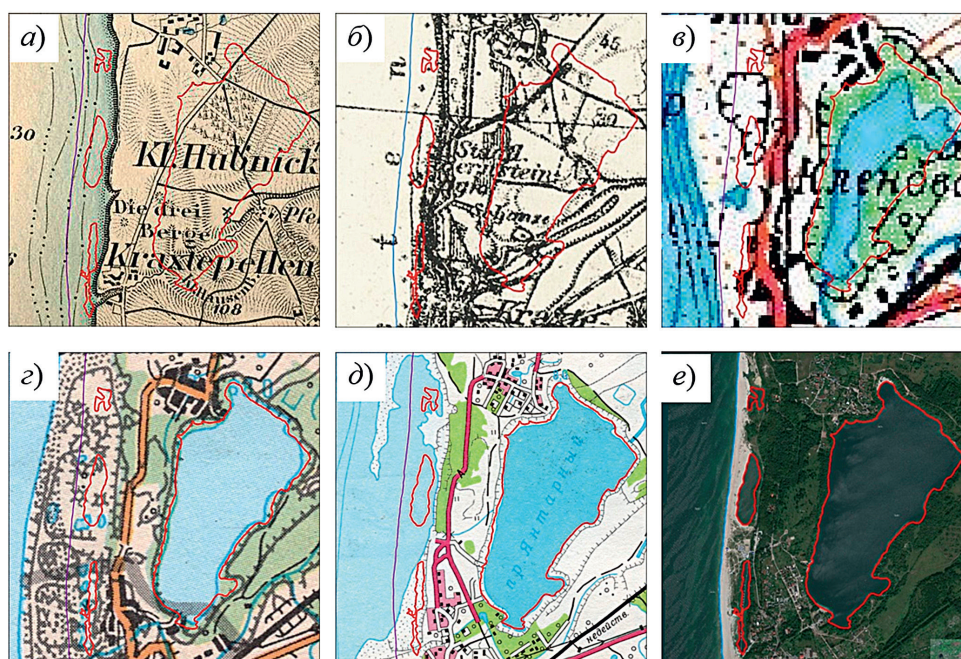


Рис. 2. Очертания береговых линий (на 2022 г.) пруда Янтарный, прибрежных лагун (красная линия) и берега моря (фиолетовая линия) на схемах в разные периоды времени: а – 1893 г. [16], б – 1939 г. [17], в – 1975 г. [18], г – 1986 г. [19], д – 2001 г. [20], е – 2022 г. [21]

Добыча в карьере осуществлялась в период с 1913 по 1972 г. Кроме прямой открытой выработки в склонах карьера велись работы по обустройству вспомогательных технологических шахт и штолен [12]. После этого карьер использовался до 1972–1975 гг., времени, когда рядом начали разрабатывать новое месторождение – «Приморское». Из карьера Пальмникенского месторождения перестали откачивать воду, и он естественным образом заполнился (рис. 2, в) водами грунтовых и межпластовых напорных горизонтов [12], превратившись в водный объект – пруд Янтарный.

Параллельно с разработкой основного карьера в 1970-х гг. добыча велась и в пляжевой зоне (рис. 2, в, з) [13]. В течение некоторого времени после прекращения эксплуатации карьер периодически имел связь с морем (рис. 2, д), что обусловило образование на его месте изолированных водоемов (рис. 2, е) с гидрологическими характеристиками лагунного типа.

В тектоническом плане пруд Янтарный и прилегающая к нему территория находятся на Гремячинском валу (Самбийский горст), с севера и с юга ограниченном разрывными нарушениями [14]. Фундамент, расположенный на глубине 2.6 км, перекрыт отложениями кембрийской, ордовикской, силурийской, девонской, пермской, триасовой, юрской, меловой, палеогеновой и неогеновой и четвертичной систем [15].

Данная территория относится к Самбийскому конечно-моренному узлу, в рельефе здесь доминируют конечно-моренные гряды, сочетающиеся с холмистыми флювиогляциальными равнинами, камами и зандрами.

Верхняя часть геологического разреза данной местности характеризуется чередованием водоупорных и водоносных горизонтов возрастом от позднего мела до позднего плейстоцена (отложения валдайского надгоризонта) Водоносные горизонты в основном сложены песками и супесями, водоупорные горизонты – глинами и суглинками [15]. С этой частью разреза связаны пресные подземные воды.

2. Материалы и методы

Изучение данной территории основано на картографических материалах и космических снимках, открытых базах данных, фондовых источниках и прямых измерениях. Привязка картографического материала [22] осуществлялась к космическому снимку по состоянию территории на 2022 г. [21] по координатам характерных точек: пересечения автомобильных дорог, железнодорожных путей, линиям постоянных водотоков. К этому изображению привязаны карты более ранних лет. По ним получены линии постоянных водотоков, урезов воды водоемов суши и уреза моря в разные периоды времени. По изогипсам отмечены границы водосборных бассейнов.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) дна пруда Янтарный, прилегающей к нему территории и дна моря создана на основе трех массивов данных. В качестве базового взят массив данных радарной топографической съемки (SRTM) [23]. Эти данные хорошо подходят для выделения основных геоморфологических форм и элементов гидрографической сети [24–28]. Значения глубин морской части получены по данным навигационных карт [29], а данные о глубинах обводненных карьеров – путем прямых измерений. Для создания ЦМР дна пруда Янтарный выполнено эхозондирование. Работы выполнены с помощью GPS-приемника с эхолотом Garmin GPSmap 421s (Garmin, США) по поперечным галсам. Глубины в пляжевых отчлененных лагунах промерены в точках гидрологических станций (рис. 3) с использованием CTD-зонда Idronaut Ocean Seven 316 (IDRONAUT, Италия). Привязка уровней водной поверхности моря и обводненных карьеров

проведена с использованием дифференцированных GPS-приемников Trimble 5700 L1 и Trimble R3 (Trimble Navigation, США). Размер ячейки итоговой ЦМР составил 50 м.

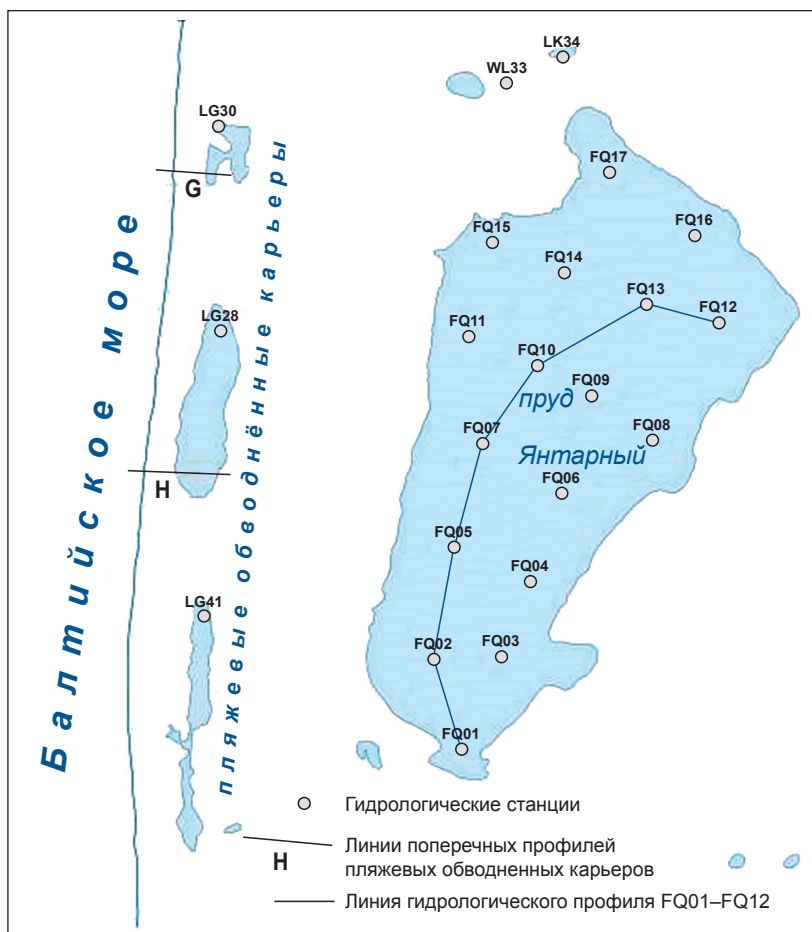


Рис. 3. Расположение гидрологических станций в акваториях пруда Яantarный и других водных объектов морского побережья в западной части Самбийского полуострова. Места поперечных профилей пляжевых карьеров и гидрологического профиля пруда Яantarный

Для получения сведений о гидрогеологическом строении территории использованы данные ООО «Калининградская гидрогеология» и открытая информация Яantarного комбината [30].

С применением STD-зонда в августе, октябре и декабре 2022 г. выполнено зондирование в точках гидрологических станций, намеченных по акваториям обводненных карьеров. Минерализацию воды, основанную на ее электропроводности, выражали в практических единицах солёности (или Practical Salinity Units, psu).

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Морфометрические, геоморфологические и гидрогеологические особенности. Практически вся территория пруда Яantarный и действующего карьера лежит в пределах бывшего водосбора (площадью 24.1 км²) мельничного ручья Кракстепеллен (рис. 1), впадавшего в Балтийское море [31]. Но в резуль-

тате более чем вековой разработки янтаря она была значительно преобразована, что сказалось как на ее геоморфологических формах, так и на гидрологических и гидрогеологических условиях. Далее приведены основные изменения, коснувшиеся морфометрических параметров водосбора и его гидрологических объектов (табл. 1, 2).

Табл. 1

Состояние водосборной территории и ее изменение в результате хозяйственной деятельности

Год состояния местности	Состояние территории и ее изменение [ссылка на картографический источник данных]
1890	Естественный рельеф, водные объекты не изменены [16]
1920	Наличие действующего карьера в южной части современного положения пруда Янтарный [11]
1939	Наличие действующего карьера в южной части современного положения пруда Янтарный, водные объекты не изменены [17]
1975	Наличие обводненного карьера с зеркалом на уровне -8.6 м н.у.м., речная сеть изменена, на морском побережье котловины пляжевых разработок, к югу заложен карьер «Приморский» [18]
1986	Наличие пруда Янтарный с зеркалом на уровне $+8.0$ м н.у.м., речная сеть изменена, к югу расположен карьер месторождения «Приморское», на морском побережье котловины пляжевых разработок с частичным подтоплением [19]
2001	Наличие пруда Янтарный с зеркалом на уровне $+8.0$ м н.у.м., речная сеть изменена, морской пляж размывает [20]
2022	Наличие пруда Янтарный с зеркалом на уровне $+10.0$ м н.у.м., речная сеть значительно изменена, на морском побережье образованы отчлененные пляжевые лагуны [21]

В работе [31] отмечено, что в самом начале XX в. ручей Кракстепеллен имел долину, простирающуюся на несколько километров вглубь суши в восточном направлении и сообщаящуюся с другими долинами, расположенными к юго- и северо-востоку от неё. Однако к 1920 г. (согласно картографическим данным) разработка месторождения затронула ландшафт в междуречье ручья и его притоков. Площадь карьера составила 0.26 км^2 , но гидрографическая сеть изменена не была. К 1939 г. площадь карьера увеличилась до 0.79 км^2 , было изменено положение русла реки, но площадь водосбора осталась той же. В послевоенный период местоположение карьера сместилось к северу, гидрологическая сеть вновь была изменена, а границы водосбора остались прежними. Рубежом изменений данной территории стоит считать прекращение активной разработки Пальменикенского месторождения и обводнение его карьера, начало разработки карьера месторождения «Приморское». Так, к 1975 г. на картах появился новый водный объект, площадью 0.55 км^2 , с урезом воды на высоте -8.6 м н.у.м. С этого периода увеличивалась площадь карьера Приморского месторождения, увеличивались площадь и объем обводненного карьера, но сокращалась его водосборная территория (табл. 2).

Табл. 2

Изменение морфометрических и гидрологических параметров водосборной территории

Морфометрический параметр	Год состояния местности					
	1890	1939	1975	1986	2001	2022
Площадь водосбора, км ²	24.1	24.1	23.8	22.9	14.0	12.8
Площадь пруда Янтарный, км ²	–	–	0.55	1.09	1.17	1.20
Отметка уреза воды пруда Янтарный н.у.м., м	–	–	–8.6	+8.0	+8.0	+10.0
Объем воды пруда Янтарный, тыс. м ³	–	–	469	14601	14601	16965

В настоящее время пруд Янтарный представляет собой водный объект, отделенный от моря массивом коренного берега (шириной 400–500 м) и пляжем (150–300 м), зеркало воды расположено на высоте +10.0 м н.у.м. Рельеф водосбора пруда имеет высоты до 50 м (рис. 1). Наиболее возвышенные участки в виде подковы огибают пруд Янтарный с северной, восточной и западной стороны. Они же отделяют данный водный объект от действующего карьера месторождения «Приморское». Рельеф прибрежной части является абразионным и представлен уступами, имеющими перепад высот до 45 м.

Водосборную территорию (площадью 12.8 км²) пруда Янтарный можно выделить условно, так как гидрографическая сеть изменена и представлена в основном ручьями, дренажными каналами и канавами (рис. 1). Основным источником поступления воды в пруд – подземные воды.

Водную поверхность пруда Янтарный окаймляют крутые склоны с перепадами высоты над водной поверхностью в 30 м на востоке и 20 м на западе. Конфигурация самого водного объекта имеет вытянутую с юга на север форму, его зеркало с размерами 2.0×1.1 км имеет площадь 1.2 км². В рельефе дна можно выделить две депрессии: одна, расположенная вдоль западного склона, вытянутая с юга на север, имеет максимальную измеренную глубину в –23.6 м; другая, локализованная в северо-восточной части, имеет измеренный максимум в –19.4 м [32]. Между собой впадины разделены поднятием (остаток насыпного вала железной дороги) глубиной от –6 до –12 м. С учетом привязки рельефа дна пруда Янтарный к рельефу окружающей территории отмечено, что глубинная часть располагается ниже уровня моря (рис. 4).

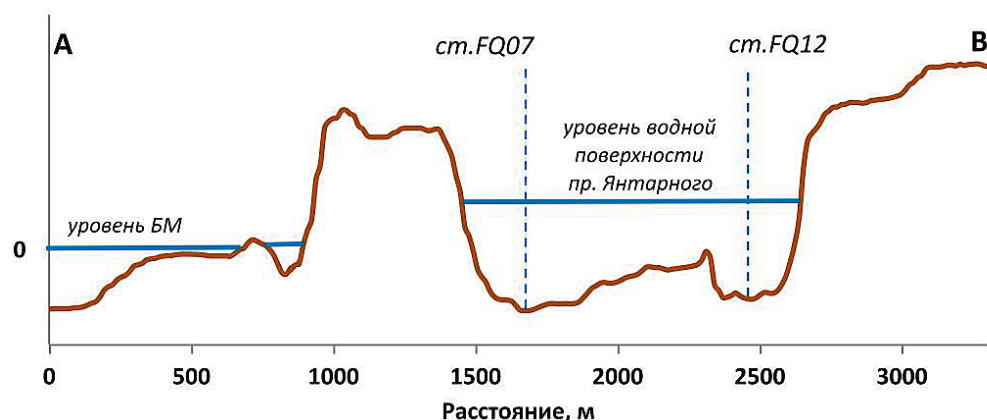


Рис. 4. Гипсографический профиль по линии А–В. Местоположение станций FQ07 и FQ12 отмечено на рис. 3

Дно пруда врезается в два водоупорных горизонта: среднепалеогеновый водоупорный горизонт прусской свиты $P_2^3 pr$ (глубина подошвы на уровне от -20 до -12 м) и днепровский моренный относительно водоупорный горизонт $gIIdn$ (от $+5$ до $+10$ м), местами перекрывающий среднепалеогеновый водоносный горизонт. На значительной части исследуемой площади между этими двумя водоупорами залегают среднепалеогеновый (верхнеэоценовый прусской свиты) $P_2^3 pr$ и нижнеэоценовый (N_1) водоносные горизонты. На поверхности днепровского моренного водоупорного горизонта залегают днепровско-московский межморенный ($IIdn-ms$) водоносный горизонт. Все три водоносных горизонта, с одной стороны, питают карьер, а с другой, имеют разгрузку в море (за исключением N_1) (рис. 5). Кроме того, эти водоносные горизонты соединены с котловиной действующего карьера, а также являются источником водоснабжения близлежащей территории.

Хозяйственная деятельность с использованием подземных водоносных горизонтов заключается в водозаборе для хозяйственно-бытовых нужд муниципалитета [6] и в технологическом водопонижении действующего карьера. Согласно данным Янтарного комбината [30], для безопасного ведения горных работ остаточный напор подпродуктивного водоносного горизонта поддерживается на уровне не более 15 м, тогда как остаточный напор в естественном режиме в районе ведения горных работ составляет 18–25 м. Соответственно, в настоящее время в связи с работой системы водопонижающих скважин водоносные горизонты существенно сдвинуты.

При том, что подводный рельеф имеет уклон от берега в море, коренные породы, его слагающие, наклонены в противоположную сторону – от глубинных частей моря в сторону берега (согласно данным сейсмоакустического профилирования на подводном склоне [33]).

Отчлененные пляжевые лагуны расположены в 70–100 м от морского уреза и защищены от морского заплеска наземным береговым валом высотой около 2 м (рис. 6). Уровень водной поверхности северной лагуны выше уровня моря на 0.7 м, а центральной – на 0.4 м (по данным съемок на декабрь 2022 г.), что свидетельствует о положительном водном балансе со стороны поверхностного и подземного стока в эти водоемы.

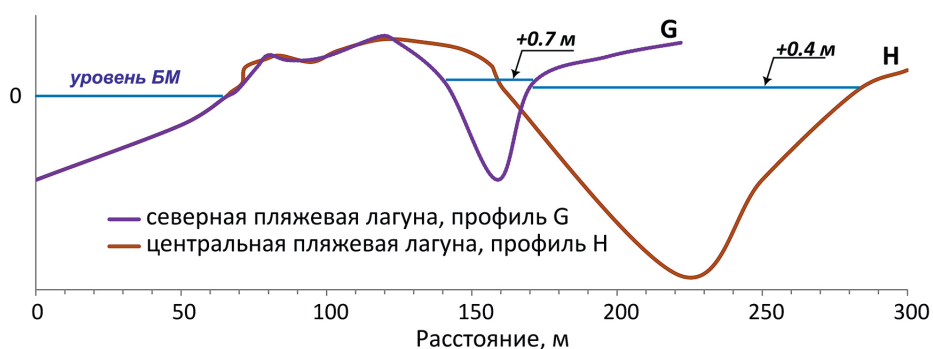


Рис. 6. Поперечные гипсографические профили, проведенные через отчлененные пляжевые лагуны. Местоположение профилей отмечено на рис. 3

Котловины пляжевых лагун выработаны в современном морском водоносном горизонте, который имеет гидравлическую связь с морскими водами. Питание пляжевых лагун происходит за счет днепровско-московского межморенного ($IIdn-ms$) и валдайского лимногляциального ($lgIIIvd$) водоносных горизонтов.

Таким образом, гидрогеологическая структура территории расположения пруда Янтарный и отчлененных пляжевых лагун, их подводный рельеф

и существующая хозяйственная деятельность дают предпосылки для возникновения эффекта интрузии и инфильтрации морских солоноватых вод в придонные горизонты этих водоемов.

3.2. Гидрологические особенности обводненных карьеров. Благодаря значительной глубине, как и другие водные объекты северо-запада России [34], в теплый период пруд Янтарный имеет температурную стратификацию. В нем практически на всех станциях наблюдается термоклин. В августе 2022 г. скачок температуры находился на глубине от 8 до 12 м. На день измерений выше этой границы значение температуры воды составило 21–22 °С, а ниже (для глубоководных станций) температура опускалась с 11 до 9 °С (рис. 7). В октябре термоклин был расположен на глубине 16–18 м, верхнее значение температуры составляло 13 °С, а нижнее – 9 °С. При этом вся толща воды выше термоклина была перемешана, а для всего водоема была характерна горизонтальная однородность температурного поля (рис. 8, а), что является одной из основных особенностей малых водоемов озерного типа [34].

Особенностью этого водного объекта является то, что минерализация воды во всей толще водоема постоянна и составляет 0.51 psu без изменений во временном диапазоне. Однако на одной станции (FQ12) в придонном слое существует резкий скачок минерализации: с 0.51 psu (глубина 18.3 м) до 0.75 psu (глубина 19.2 м) [32]. Это изменение хотя и незначительно, но выше пределов чувствительности датчиков и наблюдалось при всех гидрологических измерениях. На других станциях (даже на более глубокой FQ07, расположенной ближе к морю) аналогичного скачка минерализации обнаружено не было (рис. 7, в, г, рис. 8, б).

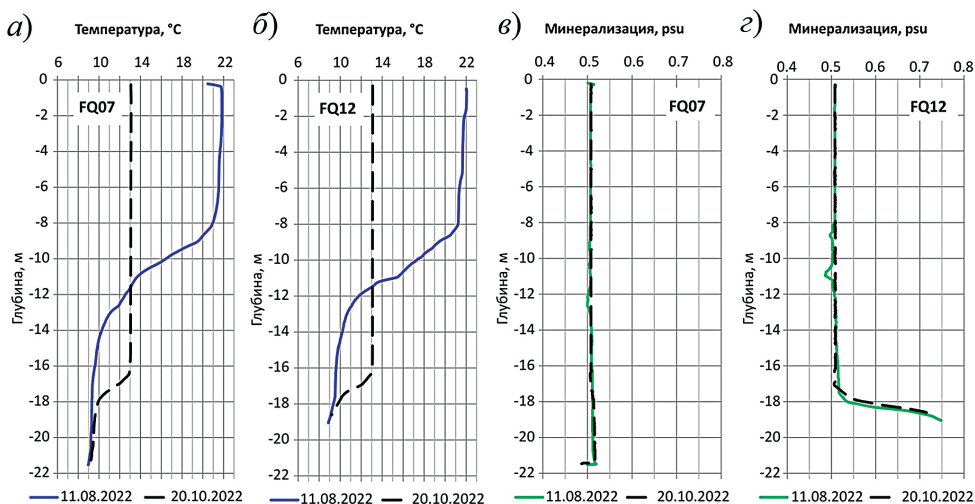


Рис. 7. Изменение температуры (а, б) и общей минерализации (в, г) воды на гидрологических станциях FQ07 (а, в) и FQ12 (б, г) пруда Янтарный (11.08.2022 и 20.10.2022)

Измерения температуры и минерализации в отчлененных пляжевых лагунах в холодный период показали, что термоклин отсутствует, а в придонном слое изменений не зафиксировано. В октябре значения температуры воды центральной лагуны составили +11.8 °С, а в декабре +2.5 °С, при этом приповерхностная часть водной толщи (до глубины 0.5 м) была чуть более выхоленная. Значения минерализации были едины во всем водоеме и составляли 3.1 psu (в октябре) и 2.9 psu (в декабре) (рис. 9). Судя по этим значениям (средним между соленостью моря в 7‰ и пресной водой), данный водоем является переходной зоной и испытывает влияние как со стороны

моря, так и со стороны пресных источников. Учитывая гидростатическое давление (пляжевые лагуны находятся выше уровня моря), следует отметить, что вода просачивается из карьеров в море, а существующая минерализация есть следствие разбавления морской воды пресной, поступающей со стороны суши.

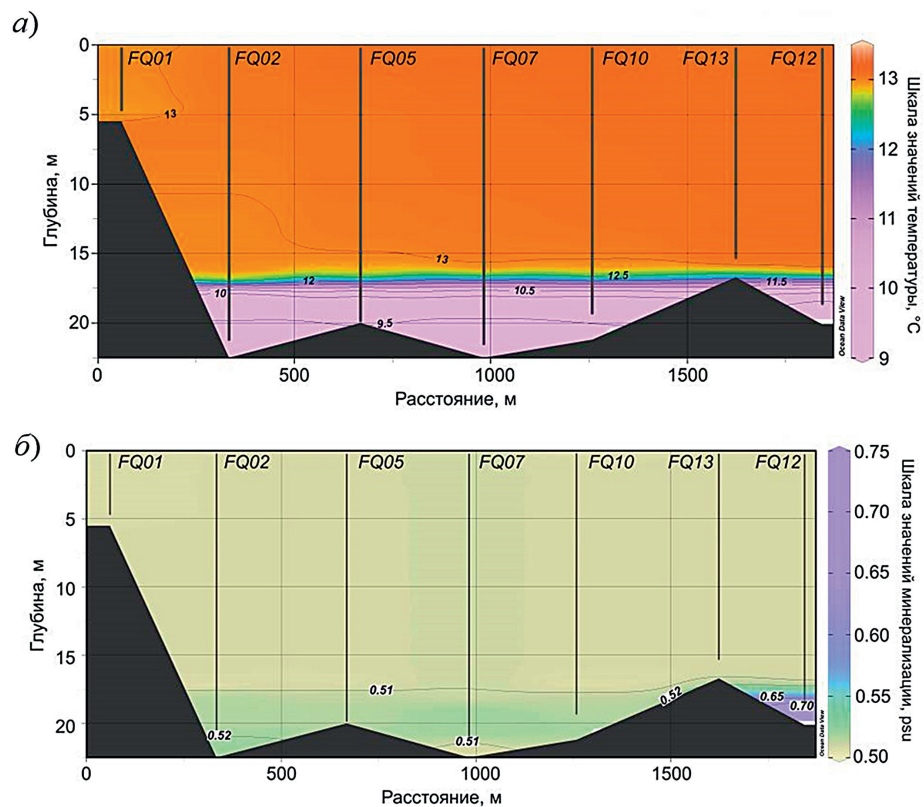


Рис. 8. Гидрологические вертикальные разрезы вдоль гидрологических станций FQ01 – FQ12 пруда Яantarный в поле температуры (а) и общей минерализации (б) воды (по данным измерений от 20.10.2022)

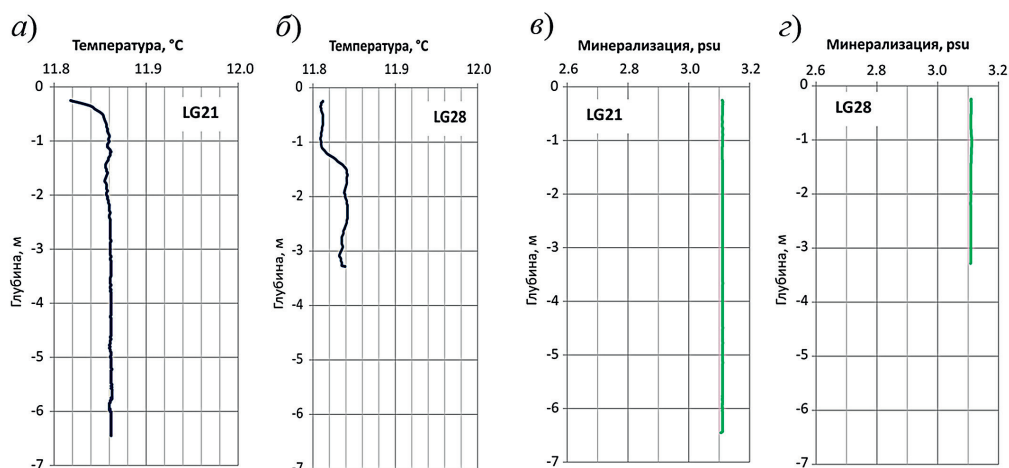


Рис. 9. Вертикальные профили температуры (а, б) и общей минерализации (в, г) воды на гидрологических станциях LG21 (а, в) и LG28 (б, г) центральной пляжевой лагуны (20.10.2022)

Сравнивая минерализацию в пруде Янтарный и близлежащих водоемах, мы отметили, что в декабре 2022 г. минерализация прибрежной части Балтийского моря составила 7.0 psu. Значения в северной пляжевой лагуне (станция LG30) зафиксированы на отметке в 0.68 psu, в центральной (станция LG28) – 2.9 psu, а поверхностные источники – питьевой колодец (станция WL33), полевое озеро (станция LK34) или воды реки Преголи [35] – имеют пресную воду со значениями до 0.3 psu. Минерализация воды пруда Янтарный оставалась неизменной по сравнению с предыдущими измерениями и составляла 0.51 psu (рис. 10).

Минерализация воды пруда Янтарный хоть и соответствует пресным водоемам, но выше, чем в других водных объектах суши, кроме того, в придонном слое (в каждой сезонной съемке за период 2020–2022 гг.) зафиксирована аномалия в поле минерализации, значение которого в 1.5 раза превышает фоновое.

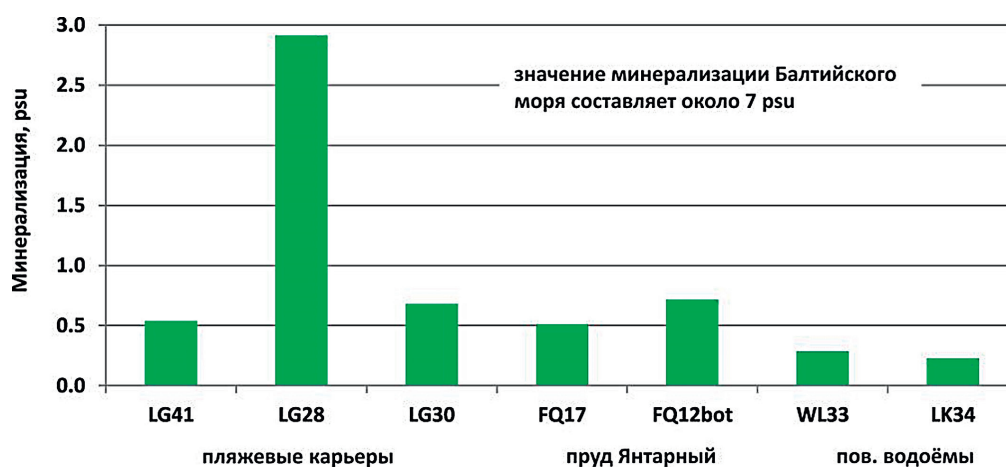


Рис. 10. Значения минерализации воды в приповерхностном слое на станциях в водоемах западного побережья Самбийского полуострова (06.12.2022)

Заключение

Территория добычи янтаря, расположенная на западном побережье Самбийского полуострова, является хоть и небольшой по площади, но за более чем вековой период времени претерпела существенные изменения, коснувшиеся геоморфологических форм, гидрологической сети, возникновения новых водных объектов. Эти изменения были рассмотрены впервые.

Практически вся территория обводненного и действующего карьеров лежит в пределах бывшего водосборного бассейна мельничного ручья. В результате хозяйственной деятельности этот водосбор уменьшился в 2 раза, а на месте добычи янтаря (к 1975 г.) возник новый водный объект – пруд Янтарный. В прибрежной зоне образовалась сеть отчлененных пляжевых лагун.

В настоящее время пруд Янтарный представляет собой водный объект, отделенный от моря массивом коренного берега и пляжем, зеркало воды расположено на высоте +10.0 м н.у.м., а глубинная часть – на 13.6 м ниже уровня моря. Основным источником питания являются подземные воды.

Днепровско-московский межморенный (*IIdn-ms*), среднепалеогеновый (верхнеэоценовый прусской свиты) P_2^3pr и нижнеэоценовый (N_1) водоносные горизонты имеют разгрузку в море, служат источником водоснабжения, а также обеспечивают взаимосвязь пруда Янтарный с действующим карьером.

С точки зрения термического режима пруд Янтарный характеризуется как типичный малый водоем, в котором благодаря значительным глубинам в теплый период образуется термоклин, также для него характерна горизонтальная однородность температурного поля.

Сравнивая значения минерализации воды пруда Янтарный (0.51 psu) со значениями минерализации воды близлежащих водоемов, мы отметили, что минерализация хоть и характеризует пресные водоемы, но ее значения выше, чем в других водных объектах суши, кроме того, в одном из понижений пруда есть локальный источник еще более минерализованных вод (0.75 psu). Такое превышение может свидетельствовать либо о проникновении морских солоноватых вод, либо о наличии высокоминерализованных пород в данном месте.

Уровень воды в пляжевых лагунах находится выше уровня моря, что свидетельствует о положительном водном балансе со стороны поверхностного и подземного стока в эти водоемы, но значения минерализации (0.7–3.1 psu) показывают, что пляжевые лагуны испытывают влияние как со стороны моря, так и со стороны пресных источников. Учитывая гидростатическое давление, следует отметить, что вода просачивается из карьеров в море, а существующая минерализация есть следствие разбавления морской воды пресной. Такие условия предполагают наличие перетоков вод между акваториями пляжевых обводненных карьеров и морем за счет гравитационной силы и разницы плотности воды.

Возникновение интрузии и инфильтрации морских вод через водоносные горизонты, имеющие связь между всеми обводненными карьерами и прибрежной частью моря, на данный момент является гипотезой, требующей более тщательной проверки. Однако для нее существуют весомые предпосылки, основанные на имеющихся данных.

Во-первых, наличие гидрогеологических условий, когда «относительно» водоупорные (ледниковые) горизонты не являются абсолютной преградой для перетока вод из одного водоносного горизонта в другой – прусский и неогеновый, а в некоторых случаях и днепровско-московский водоносные горизонты в гидравлическом отношении едины.

Во-вторых, отбор воды для водоснабжения поселка Янтарный, а также потенциально принудительное понижение напора в работающем карьере могут создавать гидродинамические условия для формирования депрессионной воронки, когда морские воды станут проникать в водоносные горизонты, а с ними и в обводненный карьер.

В-третьих, в коренном массиве, отделяющем пруд Янтарный от моря, имеется множество шахт и штолен, некогда использовавшихся в качестве технических коридоров, которые в настоящее время могут являться путями взаимосвязи между подземными горизонтами.

Опровергнуть существование гидрохимических аномалий и определить их природу можно только благодаря дальнейшим наблюдениям за гидрологическими характеристиками и использованию методов гидрохимического анализа и изотопной гидрологии.

Благодарности. Работа проведена в рамках выполнения темы № FMWE-2021-0012 госзадания ИО РАН. Данные о гидрогеологическом строении получены от ООО «Калининградская гидрогеология». Исследование инициировано в рамках проекта МАГАТЭ RER7013.

Литература

1. Береславский Э.Н. Математическое моделирование интрузии морских вод в прибрежные пресноводные горизонты // Доклады Академии наук. 2004. Т. 399, № 5. С. 625–629.
2. Грегораускас М.М., Мокрик Р.В., Иокшас К.К. Гидрохимические аспекты исследования разгрузки пресных подземных вод в Балтийское море // Водные ресурсы. 1986. Т. 13, № 4. С. 13–22.
3. Фролов А.П., Юшманов И.О. Взаимодействие пресных подземных вод суши с морскими водами на побережье Балтийского моря // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 1. С. 5–8.
4. Корнеевец Л.В. Влияние солености вод Балтийского моря на уровень грунтовых вод Куршской косы // Водные ресурсы. 1994. Т. 21, № 1. С. 119–120.
5. Хубларян М.Г., Фролов А.П., Юшманов И.О. Интрузия морских вод в прибрежные водоносные горизонты // Водные ресурсы. 2008. Т. 35, № 3. С. 288–301.
6. Информационный бюллетень о состоянии недр территории Северо-Западного федерального округа Российской Федерации в 2021 г. / отв. исп.: В.Н. Пакудина, И.В. Егорова. СПб.: Гидроспецгеология, 2022. 288 с.
7. Михневич Г.С. Характеристика антропогенных изменений качества подземных вод Калининградской области // Экология России: на пути к инновациям. 2014. № 9. С. 128–134.
8. Семенчук А.В. Условия формирования эксплуатационных запасов подземных вод юго-западной части Калининградского полуострова // Региональная геология и металлогения. 2017. № 69. С. 61–68.
9. Цупикова Н.А., Моисеенко В.В. Оценка возможности организации рыбоводного хозяйства на базе пруда Янтарный (Калининградская область) // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. 2017. № 7 (19). С. 1–10.
10. Andrée K. Der Bernstein: Das Bernsteinland und sein Leben. Stuttgart: Kosmos, 1951. 96 S.
11. Schlicht O. Das westliche Samland: Ein Heimatbuch des Kreises Fischhausen. Bd. 1. Dresden: Verlag von Kolbe & Schlicht, 1922. 458 S.
12. Тихомирова М. Литовское золото. Вильнюс: Вага, 1973. 88 с.
13. Добыча янтаря. История месторождения // АО «Янтарный комбинат». URL: <https://www.ambercombine.ru/dobycha/istoriya-mestorozhdeniya/> (дата обращения: 01.12.2022).
14. Географический атлас Калининградской области / гл. ред. В.В. Орленок. Калининград: Изд-во КГУ; ЦНИТ, 2002. 276 с.
15. Загородных В.А., Довбня А.В., Жамойда В.А. Стратиграфия Калининградского региона. Калининград: Деп. природ. ресурсов по Северо-Западному региону, 2001. 226 с.
16. Cumehnen: 1:100000, Meßtischblatt 28. Berlin: Preuss. Landesaufn., 1893.
17. Karte des Deutschen Reiches: 1:100000, Großblatt 28. Berlin: Hrsg. Reichsamt Landesaufn., 1939.
18. Янтарный. 1:200000, лист N-34-VIII, 1978.
19. Калининградская область. 1:100000 – карта области. 1:20000 – план г. Калининграда: региональный атлас / под ред. Г.М. Третьяковой // Серия: Общегеографический региональный атлас. М.: ЦЭВКФ, 2004. 72 с.
20. Калининградская область: общегеографическая карта, 1:200000 / отв. ред. Н.Е. Ларина. Калининград: БалтАГП, 2014.
21. Google Earth, 2022, CNES/Airbus, Maxar Technologies, год съемки – 2022.
22. Domnin D., Burnashov E. Geographical information dataset “Geosynthetics in coastal protection of the South-East Baltic” // Data Brief. 2022. V. 40. Art. 107693. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107693>.

23. SRTM Data – CGIAR CSI STRM. <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/> (дата обращения: 12.09.2022).
24. Домнин Д.А. Многолетние и внутригодовые изменения стока воды с российской части бассейна реки Западная Двина как отклик на колебания климатических параметров // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 51. С. 63–70.
25. Орлянкин В.Н., Алешина А.Р. Использование матриц высот SRTM в предварительных расчетах и картографировании глубин потенциального паводкового затопления речных пойм // Исследование Земли из космоса. 2019. № 5. С. 72–81. <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019572-81>.
26. Павлова А.Н. Геоинформационное моделирование речного бассейна по данным спутниковой съемки SRTM (на примере бассейна р. Терешки) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 39–44. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2009-9-1-39-44>.
27. Чумаченко А.Н., Хворостухин Д.П., Морозова В.А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 104–109. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>.
28. Domnin D., Chubarenko B., Capell R. Formation and re-distribution of the river runoff in the catchment of the Pregolya River // Gritsenko V.A., Sivkov V.V., Yurov A.V., Kostianoy A.G. (Eds.) Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region. The Handbook of Environmental Chemistry. Ser.: The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 65. Cham: Springer, 2017. P. 269–284. https://doi.org/10.1007/698_2017_97.
29. От мыса Таран до порта Балтийск: навигационная карта, 1:50000, лист 25050. СПб.: Главное управление навигации и океанографии, 2004.
30. Геология. Гидрогеологическая характеристика Приморского месторождения. URL: <https://www.ambercombine.ru/dobycha/geologiya/> (дата обращения: 01.12.2022).
31. Kaunhowen F. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 178. Blatt Palmnicken. Gradabteilung 17, No. 10. Berlin, 1914. 46 S.
32. Домнин Д.А., Гмыря Е.И., Воронаев Р.С., Пинчук В.С. Оценка возможности интрузии морских солоноватых вод в обводненный карьер // XXIX Береговая конференция: Натурные и теоретические исследования – в практику берегопользования: сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием (Калининград, 18–24 апреля 2022 г.). Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2022. С. 118–120.
33. Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовой зоны Белого, Баренцева и Балтийского морей в 2020 г. / отв. исп. В.А. Жамойда. СПб.: Гидроспецгеология, 2020. 112 с.
34. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Белашев Б.З. Температура воды разнотипных озер Карелии в условиях изменения климата (по данным инструментальных измерений 1953–2011 гг.) // Водные ресурсы. 2016. Т. 43, № 2. С. 228–238. <https://doi.org/10.7868/S0321059616020024>.
35. Домнин Д.А., Пилипчук В.А., Карманов К.В. Формирование залива солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные и технические науки. 2013. № 6. С. 206–211.

Поступила в редакцию 15.05.2023

Принята к публикации 19.09.2023

Домнин Дмитрий Александрович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории прибрежных систем

Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН

Нахимовский проспект, д. 36, г. Москва, 117218, Россия

E-mail: dimanisha@gmail.com

Михневич Галина Сергеевна, кандидат географических наук, доцент образовательно-научного кластера «Институт медицины и наук о жизни»

Балтийский федеральный университет имени И. Канта
ул. Александра Невского, д. 14, г. Калининград, 236016, Россия
E-mail: *mi78galina@mail.ru*

Вершинин Дмитрий Сергеевич, ведущий гидрогеолог

ООО «Калининградская гидрогеология»,
ул. 9 Апреля, д. 102/1, г. Калининград, 236029, Россия
E-mail: *dimavershinin@mail.ru*

Карманов Константин Викторович, заместитель начальника отдела мониторинга и обеспечения безопасности ГТС

ГБУ КО «Балтберегозащита»
ул. Хуторская, д. 1, г. Светлогорск, 238560, Россия
E-mail: *konstantin.karmanoff@yandex.ru*

Гмыря Ефим Игоревич, студент

Балтийский федеральный университет имени И. Канта
ул. Александра Невского, д. 14, г. Калининград, 236016, Россия
E-mail: *gmyryaefim@mail.ru*

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2023, vol. 165, no. 3, pp. 467–485

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2023.3.467-485

Conditions for the Interaction of Marine and Fresh Waters in the System of Coastal Flooded Quarries in the Southeastern Baltic

D.A. Domnin^{a}, G.S. Mikhnevich^{b**}, D.S. Vershinin^{c***}, K.V. Karmanov^{d****},
E.I. Gmyrya^{b*****}*

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117218 Russia*

^b*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, 236016 Russia*

^c*ООО Калининградская Гидрогеология, Калининград, 236029 Russia*

^d*State Budgetary Institution of the Kaliningrad Region "Baltberegozashchita",
Svetlogorsk, 238560 Russia*

E-mail: **dimanisha@gmail.com, **mi78galina@mail.ru, ***dimavershinin@mail.ru,
****konstantin.karmanoff@yandex.ru, *****gmyryaefim@mail.ru*

Received May 15, 2023; Accepted September 19, 2023

Abstract

The western coast of the Kaliningrad region (Russia) is known for its amber quarries. While one quarry is active, others, the Yantarny Pond and a chain of beach coastal quarries, have been flooded by the waters of subsurface horizons. This article explores objective factors behind seawater intrusion and infiltration into the flooded quarries through aquifers, which connect them to the coastal parts of the sea. Changes in the geomorphology and morphometry of the catchment surface due to quarrying were traced by analyzing the cartographic data and satellite images. The obtained results show a reduction in the size of the catchment area, shifts in the hydrological network, and the emergence of new water bodies. Three aquifers provide subsurface feed to the water bodies and discharge into the sea. They are also connected

with the existing quarry and the water supply system of the Yantarny municipality. Hydrological field data reveal higher mineralization of the Yantarny Pond waters compared to other freshwater bodies in the study area, as well as a local near-bottom anomaly of highly mineralized waters. The water level of the flooded beach quarries is currently above sea level, but they have different salinities, indicating their transitional state from fresh- to seawater bodies.

Keywords: intrusion, flooded quarry, lake, pond, catchment, amber mining, Yantarny, Baltic Sea, Kaliningrad region

Acknowledgements. This study was performed as part of the state assignment (theme no. FMWE-2021-0012) to Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences. Data on the hydrogeological structure were kindly provided by OOO Kaliningradsкая Gidrogeologiya. The study was initiated within IAEA RER7013 Project.

Figure Captions

- Fig. 1. Yantarny Pond, its catchment area, and coastal flooded quarries on the scheme of relief surface.
- Fig. 2. Coastlines (for 2022) of the Yantarny Pond, coastal lagoons (red line) and the sea coast (purple line) in different periods of time: *a* – 1893 [16], *b* – 1939 [17], *c* – 1975 [18], *d* – 1986 [19], *e* – 2001 [20], *f* – 2022 [21].
- Fig. 3. Location of hydrological stations in the water area of the Yantarny Pond and other water bodies on the sea coast in the western part of the Sambia Peninsula. Locations of the cross profiles of the beach lagoons and the hydrological profile of the Yantarny Pond.
- Fig. 4. Hypsographic profile along line *A–B*. The locations of stations FQ07 and FQ12 are marked in Fig. 3.
- Fig. 5. Geological and hydrogeological sections along lines *C–D–E* (the position of the profile line is marked in Fig. 1).
- Fig. 6. Transverse hypsographic profiles of beach lagoons. The location of the profiles is marked in Fig. 3.
- Fig. 7. Changes in the temperature (*a, b*) and total mineralization (*c, d*) of water at hydrological stations FQ07 (*a, c*) and FQ12 (*b, d*) of the Yantarny Pond on August 11, 2022 and October 20, 2022.
- Fig. 8. Hydrological vertical sections along hydrological stations FQ01–FQ12 of the Yantarny Pond in the fields of temperature (*a*) and total mineralization (*b*) of water (according to the measurements taken on October 20, 2022).
- Fig. 9. Vertical profiles of temperature (*a, b*) and total mineralization (*c, d*) of water at hydrological stations LG21 (*a, c*) and LG28 (*b, d*) of the central beach lagoon (October 20, 2022).
- Fig. 10. Water mineralization in the near-surface layer at the hydrological stations in the water bodies on the western coast of the Sambia Peninsula (December 6, 2022).

References

1. Bereslavskii É.N. Mathematical simulation of the intrusion of sea water into coastal freshwater levels. *Dokl. Phys.*, 2004, vol. 49, no. 12, pp. 756–759. <https://doi.org/10.1134/1.1848633>.
2. Gregorauskas M.M., Mokrik R.V., Iokshas K.K. Hydrochemical aspects of studying discharge of fresh groundwaters in the Baltic Sea. *Water Resour.*, 1986, vol. 13, no. 4, pp. 313–322.
3. Frolov A.P., Yushmanov I.O. Interaction between fresh groundwater and salt water at the Baltic Sea coast. *Water Resour.*, 1998, vol. 25, no. 1, pp. 1–3.
4. Korneevets L.V. Influence of salinity of the Baltic Sea waters on the groundwater level of the Curonian Spit. *Water Resour.*, 1994, vol. 21, no. 1, pp. 119–120.
5. Khublaryan M.G., Frolov A.P., Yushmanov I.O. Seawater intrusion into coastal aquifers. *Water Resour.*, 2008, vol. 35, no. 3, pp. 274–286. <https://doi.org/10.1134/S0097807808030032>.
6. *Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii nedr territorii Severo-Zapadnogo federal'nogo okruga Rossiiskoi Federatsii v 2021 g.* [Newsletter on the Subsoil State in the Territory of the Northwestern Federal District of the Russian Federation in 2021]. Pakudina V.N., Egorova I.V. (Princ. Invest.). St. Petersburg, Gidropetsgeologiya, 2022. 288 p. (In Russian)
7. Mikhnevich G.S. Characteristics of anthropogenic changes in the quality of groundwater in the Kaliningrad region. *Ekol. Ross.: Na Puti k Innovatsiyam*, 2014, no. 9, pp. 128–134. (In Russian)

8. Semenchuk A.V. Formation conditions of useful groundwater resources in southwestern part of the Kaliningrad Peninsula. *Reg. Geol. Metallog.*, 2017, no. 69, pp. 61–68. (In Russian)
9. Tsoupikova N.A., Moiseenko V.V. The possibility to organize a fish farm in the Yantarny Reservoir (Kaliningrad region). *Aekon.: Ekon. Sel'sk. Khoz.*, 2017, no. 7 (19), pp. 1–10. (In Russian)
10. Andrée K. *Der Bernstein: Das Bernsteinland und sein Leben*. Stuttgart, Kosmos, 1951. 96 S. (In German)
11. Schlicht O. *Das westliche Samland: Ein Heimatbuch des Kreises Fischhausen*. Bd. 1. Dresden, Verlag von Kolbe & Schlicht 1922. 458 S. (In German)
12. Tikhomirova M. *Litovskoe zoloto* [Lithuanian Gold]. Vilnius, Vaga, 1973. 88 p. (In Russian)
13. Amber mining. A history of the field. In: *AO "Yantarnyi kombinat"* [AO Amber Mining Plant]. URL: <https://www.ambercombine.ru/dobycha/istoriya-mestorozhdeniya/>. (In Russian)
14. Orlenok V.V. (Ed.) *Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographical Atlas of the Kaliningrad Region]. Kaliningrad, Izd. TsNIT, 2002. 276 p. (In Russian)
15. Zagorodnykh V.A., Dovbnya A.V., Zhamoida V.A. *Stratigrafiya Kaliningradskogo regiona* [Stratigraphy of the Kaliningrad Region]. Kaliningrad, Dep. Prir. Resur. Sev.-Zapadn. Reg., 2001. 226 p. (In Russian)
16. Cumehnen. Maßstab: 1:100000. Meßtischblatt: 28. Berlin, Preuss. Landesaufn. 1893. (In German)
17. Karte des Deutschen Reiches. Maßstab: 1:100000. Großblatt 28. Berlin, Hrsg. Reichsamt Landesaufn. 1939. (In German)
18. Yantarny. Scale: 1:200000. Sheet: N-34-VIII. 1978. (In Russian)
19. Kaliningrad Region. 1:100000 – Map of the Region. 1:20000 – Map of Kaliningrad City: Regional Atlas. Tret'yakova G.M. (Ed.). Ser.: General geographical atlas of the region. Moscow, TsEVKF, 2004. 72 p. (In Russian)
20. Kaliningrad Region: General Geographical Map. Scale: 1:200000. Larina N.E. (Ed.). Kaliningrad, BaltAGP, 2014. (In Russian)
21. Google Earth, 2022. CNES/Airbus, Maxar Technologies. Map year: 2022.
22. Domnin D., Burnashov E. Geographical information dataset “Geosynthetics in coastal protection of the South-East Baltic”. *Data Brief*, 2022. vol. 40, art. 107693. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107693>.
23. SRTM Data – CGIAR CSI STRM. <https://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.
24. Domnin D.A. Long-term and within-year variability of runoff from the Russian part of the catchment area of the Western Dvina River, as a response to fluctuations in climatic parameters. *Uch. Zap. RGGMU*, 2018, no. 51, pp. 63–70. (In Russian)
25. Orlyankin V.N., Aleshina A.R. Using SRTM elevation matrices in preliminary calculations and mapping of the depths of the potential flood inundation of fluvial plains. *Izv., Atmos. Oceanic Phys.*, 2019, vol. 56, no. 9, pp. 1168–1176. <https://doi.org/10.1134/S0001433820090182>. (In Russian)
26. Pavlova A.N. Geomodeling of river basin based on SRTM satellite data (using the Tereshka River as an example). *Izv. Sarat. Univ. Nov. Ser. Ser.: Nauki Zemle*, 2009, vol. 9, no. 1, pp. 39–44. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2009-9-1-39-44>. (In Russian)
27. Chumachenko A.N., Khvorostukhin D.P., Morozova V.A. Construction of a hydrologically-correct digital terrain model (using the example of Saratov region). *Izv. Sarat. Univ. Nov. Ser. Ser.: Nauki Zemle*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 104–109. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109>. (In Russian)
28. Domnin D., Chubarenko B., Capell R. Formation and re-distribution of the river runoff in the catchment of the Pregolya River. In: Gritsenko V.A., Sivkov V.V., Yurov A.V., Kostianoy A.G. (Eds.) *Terrestrial and Inland Water Environment of the Kaliningrad Region*. Ser.: The Handbook of Environmental Chemistry. Vol. 65. Cham, Springer, 2017. pp. 269–284. https://doi.org/10.1007/698_2017_97.
29. From Cape Taran to the Port of Baltiysk: Navigation Map. Scale: 1:50000. Sheet: 25050. St. Petersburg, Gl. Upr. Navig. Okeanogr., 2004. (In Russian)
30. Geology. Hydrogeological description of the Primorsky deposit. URL: <https://www.ambercombine.ru/dobycha/geologiya/>. (In Russian)
31. Kaunhowen F. *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten. Lieferung 178. Blatt Palmnicken. Gradabteilung 17, No. 10*. Berlin, 1914. 46 S. (In German)

32. Domnin D.A., Gmyrya E.I., Voropaev R.S., Pinchuk V.S. Assessing the possibility of brackish seawater intrusion into a flooded quarry. In: *XXIX Beregovaya konferentsiya: Naturnye i teoreticheskie issledovaniya – v praktiku beregopol'zovaniya: sbornik materialov Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Kaliningrad, 18–24 aprelya 2022 g.)* [Proc. XXIX Coastal Conf.: Field and Theoretical Research – to the Practice of Sea Coast Use: All-Russ. Conf. Int. Participation (Kaliningrad, April 18–24, 2022)]. Kaliningrad, Izd. BFU im. I. Kanta, 2022. pp. 118–120. (In Russian)
33. *Informatsionnyi byulleten' o sostoyanii nedr pribrezhno-shel'fovoi zony Belogo, Barentseva i Baltiiskogo morei v 2020 g.* [Newsletter on the Subsoil State in the Coastal-Shelf Zone of the White, Barents, and Baltic Seas in 2020]. Zhamoyda V.A. (Ed.). St. Petersburg, Gidrospeitsgeologiya, 2020. 112 p. (In Russian)
34. Efremova T.V., Pal'shin N.I., Belashev B.Z. Water temperature in different types of lakes in Karelia under changing climate based on data of instrumental measurements in 1953–2011. *Water Resour.*, 2016, vol. 43, no. 2, pp. 402–411. <https://doi.org/10.1134/S0097807816020020>.
35. Domnin D.A., Pilipchuk V.A., Karmanov K.V. Formation of saltish water inflow in the lagoon-estuarine system of the Vistula Lagoon catchment area and the Pregolya River as a result of wind surges. *Estestv. Tekh. Nauki*, 2013, no. 6, pp. 206–211. (In Russian)

⟨ **Для цитирования:** Домнин Д.А., Михневич Г.С., Вершинин Д.С., Карманов К.В., Гмыря Е.И. Условия взаимодействия морских и пресных вод в системе прибрежных обводненных карьеров Юго-Восточной Балтики // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2023. Т. 165, кн. 3. С. 467–485. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.467-485>. ⟩

⟨ **For citation:** Domnin D.A., Mikhnevich G.S., Vershinin D.S., Karmanov K.V., Gmyrya E.I. Conditions for the interaction of marine and fresh waters in the system of coastal flooded quarries in the Southeastern Baltic. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2023, vol. 165, no. 3, pp. 467–485. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.467-485>. (In Russian) ⟩