

*Г. С. Михневич*

**ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ  
СУБМАРИННОЙ РАЗГРУЗКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКЕ**

42

Субмаринная разгрузка подземных вод широко развита в Южной Балтике и создает специфические условия для формирования придонных экосистем. Подземные воды обладают гидрохимическими характеристиками, отличающими их от морских вод, что отражается на химическом составе донных осадков и придонных вод. Кроме того, подземный сток из водоносных горизонтов зоны активного водообмена наряду с речным стоком и атмосферными выпадениями может служить значимым фактором загрязнения морской среды. Однако российский сектор Юго-Восточной Балтики изучен в отношении субмаринной разгрузки очень слабо. Между тем особенности геологического строения могут способствовать развитию этого процесса. Исследование геологических предпосылок субмаринной разгрузки стало целью настоящей работы. Анализ различных факторов, потенциально способствующих субмаринной разгрузке (разломная тектоника, сейсмическая активность, проницаемость горных пород, палеоврезы, покмарки), позволил выделить перспективные для дальнейших исследований участки дна. В прибрежной зоне это участок выхода коренных пород на северном подводном склоне Калининградского полуострова, образующих палеоценовый водоносный горизонт. На остальной площади дна Юго-Восточной Балтики водоносные горизонты перекрыты мощным слоем четвертичных образований. Только сочетание указанных факторов делает возможной субмаринную разгрузку подземных вод на больших глубинах моря.

*Submarine groundwater discharge is widespread in the Southern Baltic and creates specific conditions for the benthic ecosystems development. Groundwater has hydrochemical characteristics that are different from sea water, which is reflected in the chemical composition of bottom sediments and waters. In addition, underground runoff from the aquifers of the active water exchange zone, along with river runoff and atmospheric deposition, can serve as a significant factor in the pollution of the marine environment. However, submarine discharge in the Russian sector of the Southeast Baltic is very poorly studied. Meanwhile, the features of the geological structure can contribute to the development of this process. This work focuses on the geological prerequisites for submarine discharge. Analysis of various factors that potentially contribute to submarine discharge (fault tectonics, seismic activity, rock permeability, paleo-incisions, pockmarks) made it possible to identify areas of the bottom that are promising for further research. In the coastal zone, this is an area of bedrock outcrops on the northern underwater slope of the Kalinin-*



*grad Peninsula, forming a Paleocene-Eocene aquifer. Further, in the Southeast Baltic bottom area, aquifers are overlain by a thick layer of Quaternary formations. It is only a combination of these factors that makes the submarine discharge of groundwater at great depths of the sea possible.*

**Ключевые слова:** подземные воды, субмаринная разгрузка, палеоврез, покмарк, тектонический разлом, водоносный горизонт.

**Keywords:** groundwaters, submarine discharge, paleoincision, pockmark, tectonic fault, aquifer.

### Введение

Субмаринная разгрузка — процесс поступления подземных вод непосредственно в море в виде подземного стока в пределах шельфа — в последние десятилетия находится в фокусе внимания исследователей [17; 20; 22—24]. Как оказалось [7; 22—24], подземный сток является значимой статьей водного и солевого бюджета морей, заливов и крупных озер. Долгое время считалось, что субмаринная разгрузка водоносных горизонтов в центральной части Гданьского бассейна маловероятна из-за значительной мощности плейстоценовых и голоценовых отложений, формирующих водоупорный горизонт. Однако исследования, проведенные в других акваториях Южной Балтики (бухта Эккернфёрде, Пуцкая бухта) [23—27], и предварительные оценки, выполненные для акватории, примыкающей к Калининградскому полуострову [12], доказывают, что субмаринная разгрузка не только возможна, но и характеризуется значительными масштабами и воздействием на морские экосистемы [13; 18; 21].

Интенсивность разгрузки подземных вод в донных отложениях морских бассейнов зависит от множества факторов. Способствовать развитию субмаринной разгрузки могут некоторые геологические факторы (условия). Эти условия связаны с зонами разломов, с наличием трещиноватости в плейстоценовых образованиях, с участками обнажения горизонтов, особенно в зонах структурных уступов (подводных террас), с зонами палеоврезов. Маркером разгрузки подземных вод могут являться покмарки — зоны естественного высачивания нефтеуглеводородов. Цель работы состоит в анализе особенностей геологического строения дна российского сектора Юго-Восточной Балтики, способствующих развитию субмаринной разгрузки подземных вод.

### Распространение водоносных горизонтов на дне Балтийского моря

На дне российского сектора Юго-Восточной Балтики обнажаются образования девонского, пермского, триасового, юрского, мелового, палеогенового возраста, образующие в разрезе закономерно чередующиеся водоносные и водоупорные горизонты [1; 3; 5]. При этом возможность разгрузки подземных вод появляется только при обнажении водоносных горизонтов, сложенных проницаемыми породами. Далеко не вся площадь дочетвертичной поверхности предоставляет такую воз-



возможность (рис. 1). Гидрогеологические условия акватории Балтики изучены недостаточно, поэтому, опираясь на существующие данные о геологическом строении дна Юго-Восточной Балтики и гидрогеологических условиях Калининградской области, можно предположить следующую картину распространения водоносных горизонтов.

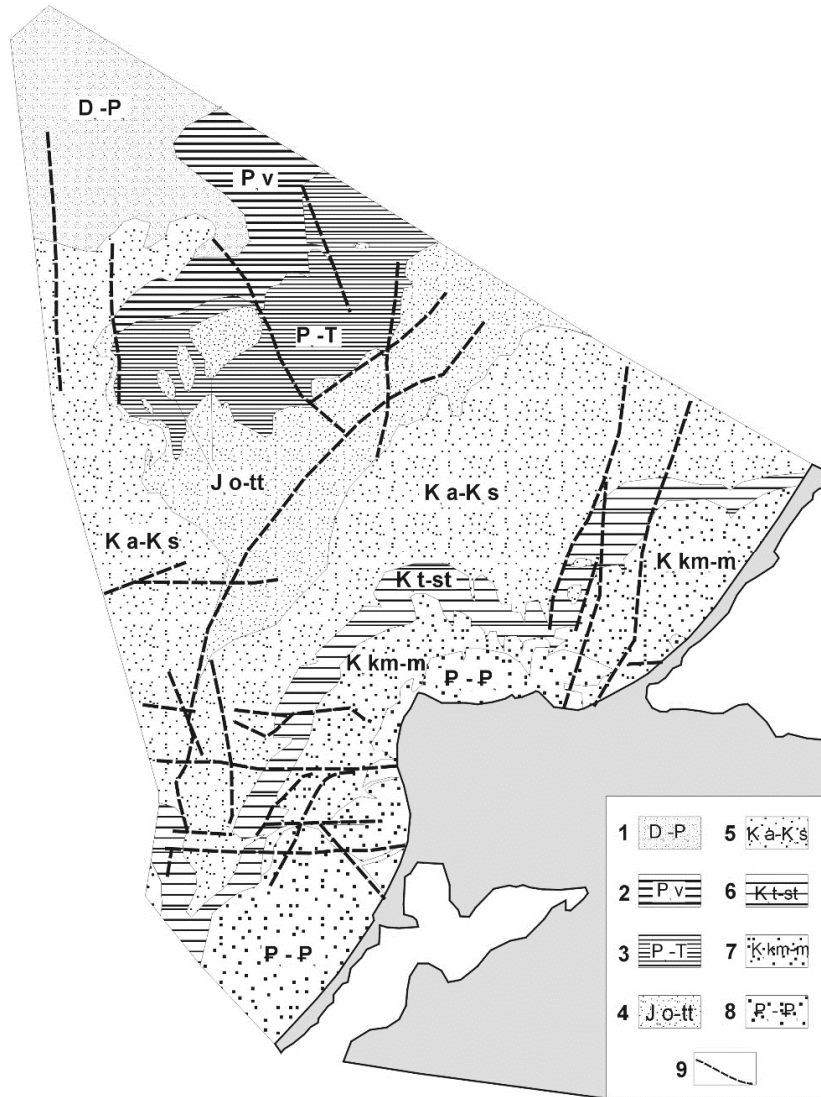


Рис. 1. Схема распространения водоносных и водоупорных горизонтов в российском секторе Юго-Восточной Балтики:

1 – девонско-пермский водоносный горизонт; 2 – вятский водоупорный горизонт; 3 – верхнепермско-триасовый водоупорный горизонт; 4 – оксфорд-титонский водоносный горизонт; 5 – апт-сеноманский водоносный горизонт; 6 – турон-сантонский относительно-водоупорный горизонт; 7 – кампан-маастрихтский водоносный горизонт; 8 – палеоцен-эоценовый водоносный горизонт; 9 – разломы

Источник: разработано на основе геологической карты дочетвертичных образований [1]; гидрогеологическая стратификация дана по [5].



Непосредственно близ Калининградского полуострова (к северу и западу от него) и к западу от Балтийской косы на дочетвертичной поверхности обнажаются песчаные и алевритовые отложения алкской, самбийской, заостровской и любавской свит, образующие палеоценовый водоносный горизонт (Pg<sub>1</sub>-Pg<sub>2</sub>) [3; 5]. К западу от Куршской косы и Калининградского полуострова отложения калиновской и лозняковской свит (разнообразные мергели с прослоями алевролитов, песчаников, опок) формируют выходы кампан-маастрихтского водоносного горизонта (K<sub>2</sub>km-m) [3; 5]. Далее мористее дочетвертичная поверхность представлена глинистыми мергелистыми отложениями турон-сантонского относительно водоупорного горизонта (K<sub>2</sub>t-st) (высоковская, дубровская, демидовская свиты). Следующий водоносный горизонт, располагающийся уже на больших глубинах (30–100 м) и занимающий огромные площади дна, — апт-сеноманский (K<sub>1a</sub>-K<sub>2s</sub>) — сформирован песками, песчаниками, алевритами и алевролитами чкаловской, побединской и есяской свит (рис. 1) [3; 5].

На значительном расстоянии от берега дочетвертичная поверхность образована юрскими отложениями (глубины моря 50–100 м). Они формируют оксфорд-титонский (J<sub>3o</sub>-tt) и геттангско-батский (J<sub>1g</sub>-J<sub>2bt</sub>) водоносные горизонты, разделенные келловейским относительно водоупорным горизонтом (J<sub>2k</sub>) [3; 5]. Триасовые глинистые и верхнепермские галогенные отложения формируют единый мощный региональный водоупор (P<sub>3</sub>-T) (рис. 1) [3; 5]. Кавернозные доломиты страссфуртской серии образуют вятский (страссфуртский) водоносный горизонт (P<sub>3v</sub>), подстилающийся водоупорным вятским горизонтом (P<sub>3v</sub>) [3; 5]. В северо-западной части российского сектора Балтики под четвертичными образованиями находятся верхнедевонские известково-доломитовая и доломитово-глинистая толщи, принадлежащие девонско-пермскому водоносному горизонту (D<sub>2</sub>-P<sub>3</sub>) (рис. 1) [3; 5].

Непосредственно на дне севернее Калининградского полуострова имеются локальные выходы коренных пород, формирующих палеоцено-эоценовый водоносный горизонт [9]. Здесь разгрузка наиболее вероятна. На остальной площади дочетвертичные породы перекрыты четвертичными образованиями различной мощности (до нескольких десятков метров) и полноты разреза [4–5], и непосредственная разгрузка подземных вод становится возможной только при определенных условиях: при локальном сокращении их мощности, повышенной пористости, трещиноватости, наличии разломов и др.

### Разломы и сейсмическая активность

В структурном отношении Гданьский бассейн находится в пределах юго-восточного склона Балтийской синеклизы [5]. Современная поверхность фундамента Балтийской синеклизы отражает суммарный результат всех тектонических движений, имевших место на данной территории в течение всего фанерозоя. Поверхность фундамента местами нарушена разломами, имеющими в пределах акватории моря в основном субширотное и северо-западное простирание (рис. 1) [14].



В Балтийской синеклизе выделяются две основные категории разломов — доплатформенные (погребенные, не проникающие в осадочный чехол и не влияющие на развитие его структурных особенностей) и платформенные (проникающие в чехол). Платформенные разломы, в свою очередь, также делятся на два класса: региональные и локальные [1]. К региональным разломам относятся все крупные и средние по простиранию разломы региона (от многих десятков до нескольких сотен километров), разграничивающие крупные и средние тектонические структуры. Чаще всего эти разломы выражены в виде сбросов, реже — взбросов. К локальным разрывным нарушениям отнесены все прочие мелкие, сравнительно небольшой протяженности (до первых десятков километров), разобщенные и не объединенные в единые зоны разломы [1; 14].

Значительная часть разломов была сформирована на стадии образования Балтийской синеклизы и проникает в осадочный чехол до девонских отложений [5]. Однако некоторые признаки указывают на активность отдельных разломов и возможность их проникновения в толщу отложений выше по разрезу (вплоть до четвертичных). В частности, исследования сотрудников Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта, проведенные в начале 2000-х гг. на территории Калининградской области, выявили наличие нескольких сейсмогенерирующих структур, отождествляемых с разломами, в том числе установленными на поверхности (Янтарненская разломная зона, Пионерский разлом) [8]. В [1] демонстрируются некоторые разломы, проникающие в осадочный чехол в более молодые, нежели девонские, отложения (вплоть до палеогеновых). Активность разломов может подтверждаться проявлением сейсмической активности. Сейсмические толчки с эпицентрами, лежащими в акватории Гданьского залива (рис. 2), регистрируются регулярно (например, Европейско-Средиземноморским сейсмологическим центром [19]).

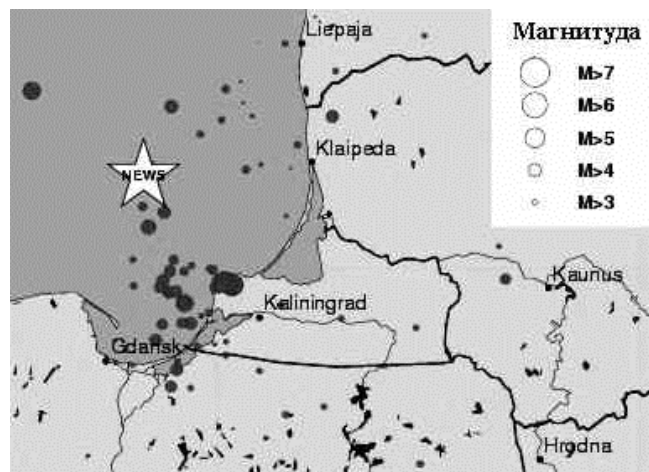


Рис. 2. Сейсмические события, зарегистрированные в Юго-Восточной Балтике в период 1964 – 2008 гг.

Источник: [19].



Разломы могут способствовать связи водоносных горизонтов, разделенных даже мощными водоупорами. На активную связь различных водоносных горизонтов, осуществляющуюся по разрывным дислокациям, указывали работы А.И. Трипониса, в которых доказывается существование связи между глубинной нефтеносностью и газобиохимическими аномалиями в водоносных горизонтах зоны интенсивного водообмена [15]. На континенте часто отмечаются аномалии величины минерализации подземных вод, в частности верхнемелового водоносного горизонта, из-за перетекания вод нижележащих водоносных горизонтов по литологическим окнам или разломам [11].

### Палеоврезы

47

Наиболее часто отмечаются палеоврезы в поверхность палеогеновых и меловых отложений. Значительное количество выявленных палеодолин плиоцен-плейстоценового возраста сосредоточено в западной части Калининградской области и продолжается в акваторию Гданьского бассейна [4; 10]. Наиболее ярким примером является палеоврез протяженностью более 20 км, протягивающийся в северо-западном направлении через весь Калининградский залив к Балтийской косе в районе г. Балтийска и далее уходящий в морскую акваторию. Балтийский палеоврез трассируется разломом и проникает в верхнемеловые (лозняковские) отложения. Минимальная в Калининградской области отметка днища палеодолины (-266 м), врезанной в среднеюрские образования, зафиксирована на севере области в приустьевой части р. Неман близ пос. Мысовка [6]. Ширина долин обычно составляет около 1,0–1,5 км, редко превышая 3–5 км [10]. Происхождение этих долинообразных углублений связывается с доледниковой речной, водноледниковой или экзарационной деятельностью либо комплексом процессов (сложные долины, модифицированные) [10].

Изучение палеодолин Калининградского полуострова дает возможность предположить активное участие в их образовании тектонического фактора. Так, формированию палеоврезов могло предшествовать погружение отдельных участков задолго до начала четвертичного времени. Проявлением тектонической активности служат нарушения (сбросы), предшествовавшие формированию палеоврезов. Такие сбросы отмечены в палеодолинах вблизи пос. Янтарный, г. Светлогорска, Балтийска [6; 10]. Амплитуда сбросов может составлять до 20 м. Следствием конседиментационного отрицательного движения явилось фиксируемое на разрезах Приморского месторождения янтаря увеличение мощности верхнеэоценового янтареносного горизонта до 20 м [6].

Анализ расположения палеодолин показал приуроченность части из них к тектоническим нарушениям [8]. Так, кроме указанных палеодолин в районе пос. Янтарный, г. Балтийска, в качестве примера можно привести долинный врез вблизи г. Славска. На флесурно-разрывные зоны — Бакалинскую и Мельниковскую — хорошо накладываются длинные оси понижений и возвышенностей дочетвертичного



рельефа. Прегольская зона разломов ответственна за появление древнего вреза глубиной более 100 м, протягивающегося через территорию г. Калининграда, и современной долины р. Преголи. Связь палеодолин с тектоническими нарушениями подтверждается некоторыми гидрогеологическими данными.

Часть крупных палеоврезов заполнена водонасыщенными отложениями и формирует основу месторождений питьевых подземных вод. Отклонения в качестве подземных вод (изменение величины минерализации, увеличение содержания хлорного иона, брома, кремнезема и др.) могут служить индикатором подпитки водоносных горизонтов из нижнемеловых или юрских горизонтов [11]. Над палеоврезами нередко наблюдается повышенная минерализация верхних горизонтов подземных вод: на глубине 20–40 м вскрываются воды с минерализацией 5,0–15,0 г/дм<sup>3</sup> [5]. По разломам из глубоких горизонтов проникают также гидротермальные растворы невысоких температур. Так, на северо-востоке Калининградской области в скважине, пройденной в пределах глубокого палеовреза, в керне, поднятом с глубины 93,5 м и представленном слабо сцементированным, сильно трещиноватым песчаником, было установлено присутствие большого количества пирита (более 12%), единичные микрокристаллы халькопирита [5]. Описанные сульфиды являются новообразованиями, и частью исходного вещества для их формирования могли служить глубинный газ или низкотемпературные растворы, проникающие по разлому [5]. Можно допустить вероятность такого процесса в акватории Балтики.

### Покмарки

Потенциально зоны разгрузки подземных вод могут сочетаться с покмарками — кратерообразными понижениями на поверхности дна, образованными за счет выхода флюида из осадка в водную толщу. Покмарки представляют собой одну из форм проявления газонасыщенных осадков, хорошо опознаются благодаря формированию акустических аномалий [16]. Акустические аномалии в центральной части Гданьского залива локализуются в узких, трещинных или трубообразных подводящих каналах, прослеживаются из дочетвертичной (палеоген-юрской) толщи до нижнеголоценовых слоев, где заканчиваются воронками диаметром до 300 м. Под этими воронками, как и под покмарками, на глубине 5–10 м четко регистрируются структуры в виде своеобразных резервуаров, которые А. И. Блажчишин назвал «газовыми подушками» [2].

Выход метана на поверхность морского дна в основном происходит в результате 1) накопления свободного газа в шельфовых осадках, 2) вертикального подъема потока, особенно вдоль тектонически активных зон, 3) разрушения газогидратов на континентальном склоне [16]. Существуют различные способы выделения метана из осадков: диффузионный (для растворенных газов, не деформирующий осадок), конвективный (с газовыми пузырьками, образующий покмарки), а также адвективный (с выходом грунтовых вод) [16].



По современным данным, покмарки в Юго-Восточной части Балтики занимают 1,7 км<sup>2</sup> из 222 км<sup>2</sup> площади газонасыщенных илов (рис. 3). Они приурочены к зонам дизъюнктивных нарушений и голоценовым осадкам мощностью более 5 м (рис. 3) [16]. Величина отношения концентраций метана к его гомологам, а также данные изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$ ) метана указывают на его микробное происхождение [16]. Однако нельзя исключить дополнительное поступление метана в верхний слой осадка из глубинного источника. На мелководье у прикормовой части Куршской косы в зоне разрывных нарушений и нефтегазонасыщенной структуры отмечено минимальное соотношение метана с его гомологами, что говорит о вероятной миграционной (глубинной) природе углеводородных газов в данном районе. «Горячей точкой» по выходу метана на границе «осадок-вода» в Балтийском море является район распространения илов. Максимальный поток метана (3,3 ммоль/м<sup>2</sup>/сут) отмечается в илах покмарков [16].

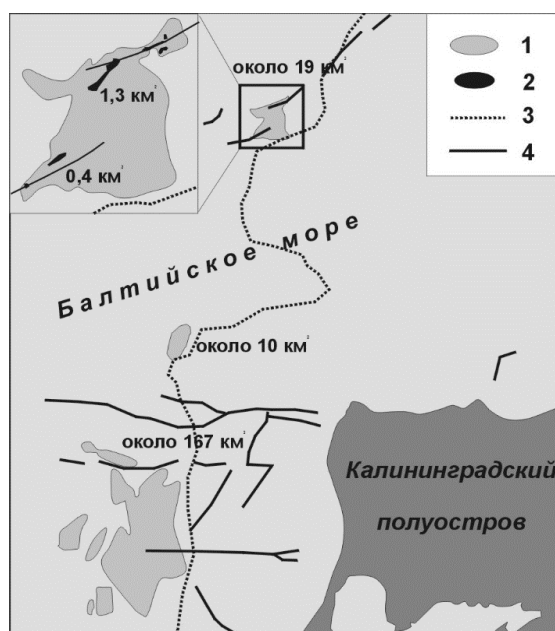


Рис. 3. Распространение газонасыщенных осадков в российском секторе Юго-Восточной Балтики по результатам эхолотных и геоакустических съемок: 1 – газонасыщенные илы; 2 – покмарки; 3 – район распространения илов; 4 – зоны разрывных нарушений. На врезке видны 7 покмарков

Источник: [16].

Заслуживает внимания также и то, что подстилающие илы нижнеголоценовые и верхнеплейстоценовые глины из кратеров обнаруживают, как и сами илы, кавернозную структуру, нередко с полигональной трещиноватостью и отдельными зияющими трещинами [2]. Трещиноватость характерна для мореноподобных отложений из кратеров, вскрытых отдельными колонками. Разнонаправленная трещиноватость свидетельствует о миграции газов не только по вертикали, но и в других направлениях (как и в Арконской впадине). Латеральная



миграция газов обусловлена наличием значительного порового пространства на базальной поверхности дочетвертичных пород. Высачивания газов происходят также над сводами девонских и силурийских антиклиналей и в местах выклинивания отдельных слоев, из которых могут разгружаться на базальную подчетвертичную поверхность артезианские воды [2]. В нашем случае это могут быть верхнемеловые и юрские водоносные горизонты. Линейный характер форм флюидной разгрузки связан с простиранием тектонических разломов.

### Результаты и выводы

50

Анализ различных факторов, способствующих субмаринной разгрузке, позволил предположить перспективные для выявления ее следов полигоны. Первый расположен в северо-восточной части Гданьского бассейна и характеризуется несколькими перспективными для субмаринной разгрузки факторами: разломы, палеоврез, покмарки, структурный уступ. Второй лежит в акватории Балтики на продолжении Бакалинской разрывной зоны, третий – на продолжении Прегольской зоны разломов. В районе первого полигона регистрируются две акустические аномалии, связанные с долинными и озерными врезами, совпадающими с простиранием разлома (рис. 4), последний сочленяется со структурным уступом верхнего мела. Корни акустических аномалий уходят в подстилающую триасово-юрскую толщу, в которой регистрируются подводящие каналы, часто заканчивающиеся в голоценовых отложениях «газовыми подушками» [2].

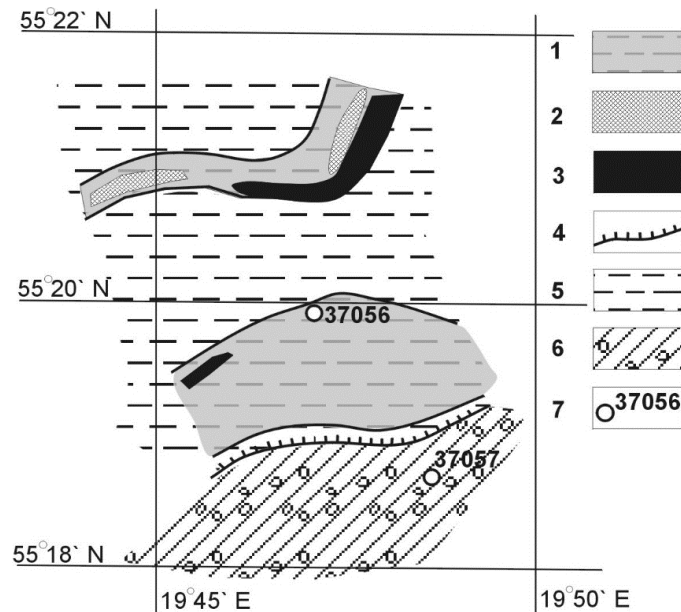


Рис. 4. Акустические аномалии и покмарки в северо-восточной части Гданьской впадины:

1 – акустические аномалии; 2 – погребенные покмарки; 3 – покмарки; 4 – структурный уступ; 5 – илы; 6 – моренные отложения; 7 – расположение колонок

Источник: на основе [2].



Обнаружение очагов субмаринной разгрузки подземных вод по инверсиям солености морских вод в связи с большой мощностью илистых осадков и размытой границей «вода — дно» вызывает трудности по причине рассеивания флюида в толще илов и его перемешивания в осадках с морской водой, а также из-за технических проблем, связанных с невозможностью получения достоверных результатов зондированием в придонном горизонте. Вследствие этого перспективным является метод обнаружения влияния субмаринной разгрузки на донные экосистемы, основанный на изменении химического состава верхнего слоя осадка [21]. Исследования геохимических свойств осадков, расположенных на площади первого полигона близ разлома и покмарка (рис. 4, колонка 37056) и в периферической зоне газонасыщенных осадков (рис. 4, колонка 37057) показали различия в вертикальном распределении химических элементов [21].

Был проведен кластерный анализ, выявивший существенные различия в группировках слоев. Вертикальная структура и уровень взаимосвязей химических элементов в колонке 37056 позволяет говорить о существовании дополнительных факторов, влияющих на седиментогенез. Существует вероятность, что таким фактором может быть субмаринная разгрузка [21].

Различия с близлежащей колонкой 37057 не могут быть объяснены различными условиями осадконакопления. В Гданьской впадине под галоклином (глубины 80–90 м) на расстоянии нескольких километров сложно представить развитие отличающихся гидролого-гидрохимических условий, определяющих различный минералогический состав отложений. Близость покмарка к колонке 37056 маркирует выход флюида из осадочной толщи, придавшего, по-видимому, особенности повторяющейся стратификации [21].

Таким образом, разгрузка подземных вод возможна не только непосредственно в зонах обнажения водоносных горизонтов на подводном склоне к северу и северо-западу от Калининградского полуострова, но и на значительном расстоянии от берега и на больших глубинах. Геологическое строение (обнажения на дне водоносных горизонтов, небольшая мощность четвертичных, прежде всего моренных, отложений, наличие палеоврезов), особенности тектоники (активные разломные зоны, проявления сейсмичности) и рельеф дна (наличие уступов) являются факторами, благоприятствующими субмаринной разгрузке. Для поиска участков разгрузки подземных вод перспективно также использование в качестве маркеров зон покмарков, в особенности тех, для которых установлено глубинное происхождение газовых флюидов. Сочетание различных факторов создает предпосылки для активной связи различных водоносных горизонтов даже через мощные водоупоры и способствует субмаринной разгрузке.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-45-390007 «Влияние субмаринной разгрузки подземных вод на формирование донных осадков в Гданьской впадине Балтийского моря».*



## Список литературы

1. *Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря* / гл. ред. О. В. Петров. СПб., 2010.
2. *Блажчишин А. И.* Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. Калининград, 1998.
3. *Вербицкий В. Р., Кириков В. П., Богданов Ю. Б.* Карта дочетвертичных образований. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 1 000 000. СПб., 2011.
4. *Геология и геоморфология Балтийского моря* / под ред. А. А. Григялиса. Л., 1991.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Сер. Центрально-Европейская. Лист N-34 – Калининград. Объяснительная записка / Н. В. Лукьянова, Ю. Б. Богданов, О. В. Васильева [и др.]. СПб., 2011.
6. *Загородных В. А.* Палеоврезы в дочетвертичную поверхность на юго-западе Прибалтики // *Геоинформатика*. 1999. № 4. С. 33 – 37.
7. *Зекцер И. С.* Подземные воды как компонент окружающей среды. М., 2001.
8. *Комплексные сейсмологические и сеймотектонические исследования для оценки сейсмической опасности территории г. Калининграда в 2008 году* : науч.-техн. отчет / ИФЗ РАН им. О. Ю. Шмидта. М., 2008.
9. *Максимов А. В., Семёнова Л. Р., Жамойда В. А.* Карта четвертичных образований. Государственная геологическая карта РФ масштаба 1 : 1 000 000. СПб., 2011.
10. *Михневич Г. С.* Особенности строения поверхности дочетвертичных отложений на территории Калининградской области // *Вестник СПбГУ. Сер. 7: Геология. География*. 2015. Вып. 3. С. 21 – 35.
11. *Михневич Г. С.* Перспективы выявления активных геологических структур на территории Калининградской области на основе исследования древних эрозионных врезов // *Наука и образование в XXI веке : сб. науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф.* Тамбов, 2013. Ч. 4. С. 100 – 104.
12. *Михневич Г. С., Кречик В. А., Крек А. В., Данченков А. Р.* Взаимодействие морских и подземных вод в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики и его экологические последствия // *Балтийский морской форум : матер. VII Междунар. Балтийского морского форума*. Калининград, 2019. Т. 3. : VII Международная научная конференция «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». С. 369 – 380.
13. *Михневич Г. С., Кречик В. А., Крек А. В., Данченков А. Р.* Роль субмаринной разгрузки подземных вод в формировании морских экосистем юго-восточной Балтики // *Проблемы регионального развития в начале XXI века : матер. междунар. науч. конф.* Калининград, 2019. С. 244 – 252.
14. *Нефть и окружающая среда Калининградской области*. Калининград, 2012. Т. II : Море.
15. *Трипонис А. И.* Газобиохимические аномалии водоносных горизонтов зоны интенсивного водообмена и их связь с глубинной нефтегазоносностью // *Вопросы нефтеносности Прибалтики*. Вильнюс, 1973. (Тр. ЛитНИГРИ ; вып. 24). С. 169 – 184.
16. *Ульянова М. О.* Углеводородные газы в поверхностных донных осадках Юго-Восточной части Балтийского моря : дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2014.
17. *Burnett W. C., Aggarwal P. K., Aureli A. et al.* Quantifying submarine groundwater discharge in the coastal zone via multiple methods // *Sci. Total Environ.* 2006. № 367. P. 498 – 543.



18. Donis D., Janssen F., Liu B. *et al.* Biogeochemical impact of submarine ground water discharge on coastal surface sands of the southern Baltic Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2017. Vol. 189. P. 131–142.

19. *Seismicity from 1964 to 11.12.2008* // European-Mediterranean Seismological Centre. URL: <https://static1.emsc.eu/Images/EVID/11/113/113585/113585.regional.seismicity.jpg> (дата обращения: 02.12.2020).

20. Kotwicki L., Grzelak K., Gzub M. *et al.* Submarine groundwater discharge to the Baltic coastal zone: Impacts on the meiofaunal community // *Journal of Marine Systems*. 2014. № 129. P. 118–126.

21. Krek A., Krechik V., Danchenkov A., Mikhnevich G. The role of fluids in the chemical composition of the upper holocene sediment layer in the russian sector of the South-East Baltic // *Russian Journal of Earth Sciences*. 2020. Vol. 20, № 6. doi: 10.2205/2020ES000719.

22. Peltonen K. *Direct Groundwater Inflow to the Baltic Sea*. 2002.

23. Pempkowiak J., Szymczycha B., Kotwicki L. Submarine groundwater discharge (SGD) to the Baltic Sea // *Rocz. Ochr. Śr.* 2010. № 12. P. 17–32.

24. Schlüter M., Sauter E. J., Andersen C. E. *et al.* Spatial distribution and budget for submarine groundwater discharge in Eckernförde Bay (Western Baltic Sea) // *Limnol. Oceanogr.* 2004. Vol. 49. P. 157–167.

25. Szymczycha B., Susanna V., Pempkowiak J. Nutrient fluxes via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea // *Science of the Total Environment*. 2012. Vol. 438. P. 86–93.

26. Szymczycha B., Kroeger K. D., Pempkowiak J. Significance of groundwater discharge along the coast of Poland as a source of dissolved metals to the southern Baltic Sea // *Mar. Pollut. Bull.* 2016. Vol. 109 (1). P. 151–162.

27. Szymczycha B., Miotk M., Pempkowiak J. Submarine Groundwater Discharge as a Source of Mercury in the Bay of Puck, the Southern Baltic Sea // *Water Air Soil Pollut.* 2013. № 224. P. 1542.

#### Об авторе

Галина Сергеевна Михневич – канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: mi78galina@mail.ru

#### The author

Dr Galina S. Mikhnevich, Associate Professor, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: mi78galina@mail.ru