



# Динамика живе око занатског и малог рудника злата, Камаринес Норт, Филипини

Такаси Томиасу<sup>1</sup> · Сора Иасу матсу<sup>1</sup> · Хитоси Кодата ни<sup>1</sup> · Рио Канваки<sup>1</sup> · Цисато Такека<sup>2</sup> · Сатоси Мурао<sup>3</sup> · Сјуици Миагава<sup>4</sup> · Кеничи Нонака<sup>5</sup> · Акио Икегучи<sup>6</sup> · Иана Навапрете<sup>7</sup>

Примљено: 23. септембра 2021. / Прихваћено: 3. октобра 2022.

© Аутор(и), под ексклузивном лиценцом за Спрингер-Верлаг ГмХ Немачка, део Спрингер Науре 2022

## Апстракт

Да се разјасни динамика живе емитоване и испуштене у занатским малом руднику злата (АСГМ) да се процени њену тицај на екосистеме залива, дистрибуцију живе у атмосфери, земљишту, води и седименту око залива Мамаулао, Камаринес Норт, Филипини, истражена је. Операције АСГМ користе живу за вађење злата из руде и налазе се на источној обали залива. Узорковање је обављено у августу 2017. и септемру 2018. Узорци су коришћени за одређивање концентрације укупне живе (Т-Хг) и органске живе (орг-Хг), садржаја укупног органског угљеника (ТОЦ) и хемијског састава. Атмосферска концентрација живе на источној обали, 6,1–25,8 нг м<sup>-3</sup>, била је значајно виша од вредности од 1,4–9,9 нг м<sup>-3</sup> уочене на страни западне обале. Просечне концентрације Т-Хг у шумском земљишту западне обале и оне на источној обали биле су 0,081 ± 0,028 мг кг<sup>-1</sup> и 0,496 ± 0,439 мг кг<sup>-1</sup>, респективно. У вертикалној дистрибуцији Т-Хг у земљишту источне обале уочена је већа концентрација близу површине. За вертикалне варијације Т-Хг у морском седименту, уочене су веће вредности у близини естуарија, а вертикалне варијације у зорцима језгра су показале повећање концентрације живе према површини. Највећа концентрација Т-Хг у седименту, 9,5 мг кг<sup>-1</sup>, што је за 2 реда величине више од позадинских нивоа овог подручја, нађена је у близини ушћа реке. Нивои Т-Хг, орг-Хг и ТОЦ показали су позитивну корелацију, што су герише да су реке главни извори Т-Хг и орг-Хг у заливу. Иако је узорак рибеса садржајем живе виши од регулаторног нивоа за рибу у школке од 0,4 мг кг<sup>-1</sup> у Јапану, није садржајем живе виши од регулаторног нивоа за рибу. Жива која се ослобађа у околину у следативности АСГМ може се претворити у метилживу и утицати на екосистем залива.

Кључне речи: Загађење живом · Земљиште · Седимент · Риба · Органска материја · Филипини

Одговорни редник: Северине Ле Фауцхур

## Увод

Токсичност живе је најбоље позната због загађења "Минамата области" које се догодило у Јапану. Хемијска врста живе која је изазвала Минамата област је метилжива произведена споредном реакцијом из неорганских живих једињења која се користе као катализатор. Метилжива садржана у фабричким отпадним водама испуштена је у залив Минамата и концентрисана кроз екосистем (Китамура *et al.* 1960; Минамата *Цити* 2000), у зрокујући озбиљну штету поздрављењу дика који конвумирају морске производе (Харада 1995; Ниномии *et al.* 1995; Акаги и др. 1998; Харада и други 1998).

Занатски и мали експлоатација злата (АСГМ) порасла је у многим земљама у развоју (Мурао *et al.* 2002a) као и на Филипинима (нпр. БанТокицс! 2011; Мацауаи *et al.* 2018) и постала је једна од главних извора

\* Такаси Томиасу

[tomi@scicagoshima-u.ac.jp](mailto:tomi@scicagoshima-u.ac.jp)

- 1 Дипломска школа науке и инжењерства, Кагосима Универзитет, 1-21-35 Коримото, Кагосима 890-0065, Јапан
- 2 Дипломска школа истраживања и привредних наука, Нагоя Универзитет, Нагоя, Јапан
- 3 Тежлошки институт Даицхи, Киришима, Јапан
- 4 Факултет примењених истраживања на Универзитета Гифу, Гифу, Јапан
- 5 Циллеге оф Артс, Универзитет Риккио, Токио, Јапан
- 6 Одрасли факултет, Национални универзитет Јокохаме, Јокохаме, Јапан
- 7 Одељење за науку о животной средини, Соутхерн Леите Државни универзитет - Кампус Хинуанган Амалакон, Хинуанган Јужни, Леите, Филипини

антропогене живе да нас (У Н Е П 2013), користе металну живу за извлачење злата из руда. Ова активност у, живина пара се емитује у атмосферу загревањем златног амлгана (Стратен 2000; Дракет ал. 2001; Оливеира ет ал. 2004; Коно ет ал. 2012; Коно и Томиасу 2013), а минимизира ни живини контаминацију у системима. Емитована живина изазива повећање концентрације живе на површинама и може је преузети од стране микроорганизама и подвргнути метилацији. На Филипинима, трансформација Хг у МХГ је примећена у стајаћој води око локација АСГМ (Црпун ет ал. 2011). Транспорт живе кроз речне системе је такође важно питање јер транспорт ова живина може да утиче на екосистеме (Мванет ал. 2012) и здравље људи у низводним регионом. Многе студије су показале да је контаминација живому речним системима узрокована активношћу АСГМ као резултат испуштања рударског отпада: Амазон (Мрени-Брунет ал.

2016), Мидао, Филипини (Аплетонет ал. 1999), Северна Колумбија (Марруго-Негрете ет ал. 2008), југоисточни Сенегал (Ниае ет ал. 2014а), острво Буру, Индонезија (Реицелт-Брунет ет ал. 2014а), Мадре де Диос, Перу (Дирингер ет ал. 2015), Колумбија (Пинедо-Хернандез ет ал. 2015), Западна Јава, Индонезија (Томиасу ет ал. 2019а). Радници АСГМ и њихове породице изложени су парци живине (Цлао-Рамос ет ал. 2021; Кристенсен ет ал. 2014; Мурао ет ал. 2002), а становници околишних низводних заједница могу коњу мирити у храну која је јако контаминирана МХГ (Ги и Олеари 2014; Мурао ет ал. 2017; Ниае ет ал. 2014а).

У рударској заједници на Филипинима, жене које пале амлгана у кући показале су много већу концентрацију Хг у коси од мушкараца (Мурао ет ал. 2002). Иако се у дисање испарљиве живе може драстично смањити заустављањем потребе живе у ископавању злата, живина распршена у животну средину неће нестати. Лист/земља и седимент су важни резервоари испуштене живе, а контаминирана лист/земља/седимент може постати контаминирана извор живе у екосистемима, што значи да се релативни значај изложености путем контаминације хране може повећати у будућности (нпр. Мурао ет ал. 2014). Такенака и др. (2021) су открили да се део Хг акумулира у листовима претвара у врсту растворљиву у води након цуског фреона на Филипинима.

Пошто су активности АСГМ које користе живу у већини случајева нелегалне и разликују се по регионима, детаљна истраживања за сваки регион су неопходна да се разуме о имовне активности и процени утицаја испуштене живе на екосистеме.

У овој студији истражена је дистрибуција живе у атмосфери, земљишту, води и седименту око залива Мамулао, Камаринес Нурте, Филипини, како и се разјаснила динамика живе емитоване и ослобођене активностима АСГМ и проценио њен утицај на екосистеме залива.

Активност АСГМ региону се налази у планинском подручју

на сељама на источној али залива Мамулао у лини градице између Камаринес Нурте и Паракале. Самни еои Танџулинг (2018) су известили да отпад који садржи живу из активности АСГМ теку у залив Гумау кроз реке. С друге стране, нема детаљних извештаја о уливу и дистрибуцији живе у залив Мамулао.

Залив Мамулао је унутрашњи залив и ако живина садржана у отпадним водама доспева у њу, очекује се да ће се живина задржати дуже време, а утицај на екосистеме може бити озбиљнији од залива Гумау.

## Материјал и методе

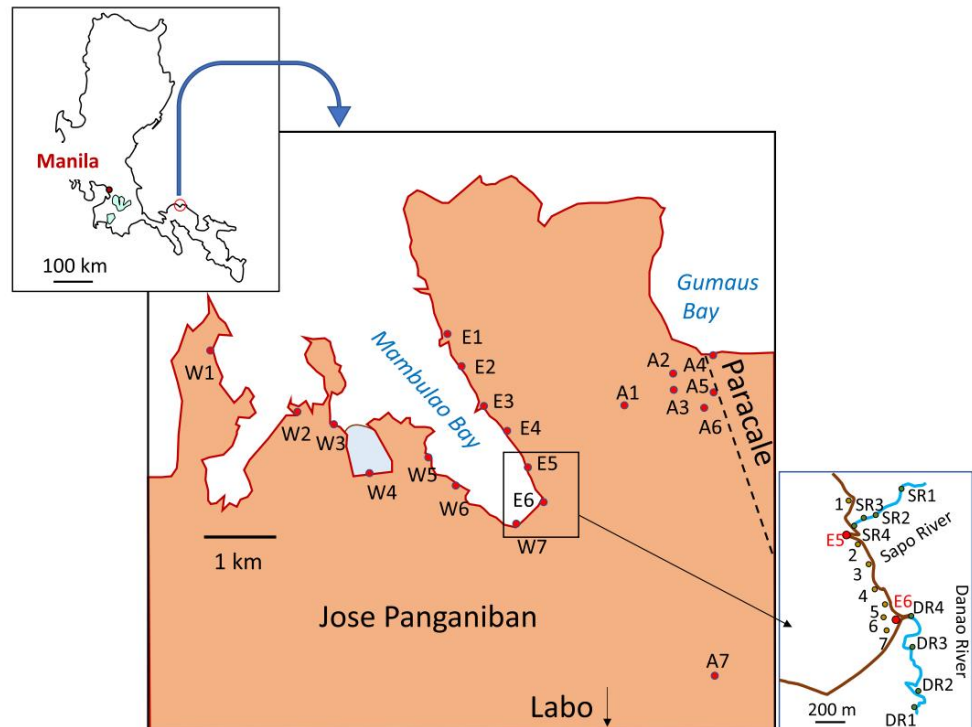
### Узимање узорка

Студија је спроведена у области АСГМ провинцији Камаринес Нурте, Филипини (слика 1). АСГМ је концентрисану општинама Хозе Панганиан, Лао и Паракале захваљујући отаџбини лажима злата. На локацијама АСГМ живина се користи за вађење злата из руде традиционалним методама. Амлгана живина невезана за злато се одвајају од жаловине паковањем на кону клањања вишка живе стискањем у комад ткањине, амлган се спаљује у отвореном тигану помоћу евинско-ваздушне акеље, а живина се емитује у атмосферу, изазивајући ризике по животну средину и здравље. Живина контаминирана жаловина се одлаже у реке. Годишња производња злата из АСГМ процењена је на 2400 кг у покрајини. Употреба живе у процесу амлганације у овој области је детаљно приказана (Самни еои Танџулинг 2018; Мурао ет ал. 2019). Тачке узорковања ове студије приказане су на слици 1. Узорковање је обављено у дужморској области залива Мамулао: Е1-Е6 су источна страна, а В1-В7 западна страна залива. А1-А7 су активне локације АСГМ или локација на којој су пронађена радна места. Вероватно постоје и друге локације АСГМ у региону које нисмо открили.

Узорковање је обављено у августу 2017. и септемру 2018. На свакој локацији узорци земљишта су сакупљани на сваким 2 цм површине до дубине од 10 цм. Узорци морског седимента су сакупљени акрилним цевима (унутрашњи пречник 3,5 цм, дужина 50 цм). Дужина узорка језгра кретала се од 10 до 40 цм у зависности од карактеристика седимента, углавном величине зрна. Дојени узорци језгра су исечени на свака 2 цм узорци су узети из центра колоне да се спречи контаминација. Речни седимент је сакупљен мерицом која је допирала само у реке.

Узорци земље и седимента смештени су у пластичне кесе са печатима и увезени у Јапану уз дозволу Министарства пољопривреде, шумарства и рибарства Јапана у складу са законом о заштити животне средине. Донесени узорци

Слика 1 Мапа која приказује студију оласти



назад у Јапанску осушени за мрзавањем млевени у малтеру од ахата и коришћени за одређивање концентрација Т-Хг и орг-Хг, садржаја укупног органског угљеника (ТОЦ) и жмијског састава земљишта/седимента што је пре могуће.

Температура, pH и електрична проводљивост у зорка воде мерени су на местима за узорковање помоћу електрода (преносиви pH метар Д-74, ХОРИБ АСЦиенгифц Цф., Лтд., Јапан; опсег мерења за pH 0,00–14,00 и електричну проводљивост 0,0–199,9 С/м). У зорци воде су сипани у тешку стаклену бочицу од 250 мл тако да није остало ваздуха, које су чврсто затворене поклопцем на војизатимвраћене лабораторије. За анализу процеђене укупне живе (ФТ-Хг), сакупљени зорци воде су процеђени кроз мембрански филтер (са величином пора од 0,45 μм). Суспендоване честице на филтеру су коришћене за анализу честица живе (п-Хг).

Атмосферска жива је сакупљена методом магнетне злата коришћењем цевчице за прикупљање живе (НИЦ Токио, Јапан). На свакој локацији у зорковања, колекторска цев је повезана са ваздушном пумпом (Сингата Сциенгифц Тецнологи, Саитама, Јапан), а амбиентални ваздух је у сисану колекторску цев током 30–80 мин при протоку од 0,5 л/мин.

## Мерка мерења

Поступак за одређивање укупне концентрације живе у чврстим зорцима

Концентрације Т-Хг су одређене методом којој су описали Акаги и Нишимура (1991) са

модификације Акаги и ет ал. (1995). Прецизност и тачност методе је више пута верификована међу лабораторијским вежбама калибрације (Матсуо ет ал. 1989; Малмет ет ал. 1995), укључујући и анализу референтних стандарда (нпр. ИАЕА 085 и 086). У овој студији, тачност мерења Т-Хг је такође верификована на сертификованом референтном материјалу ЦРМ

7302-а (морски седимент) припремљен од стране Националног института за напредну индустријску науку и технологију (АИСТ), Јапан. Вредности одређене овом методом од  $0,51 \pm 0,02$  мг/кг ( $n=8$ ) до  $0,52 \pm 0,03$  мг/кг.

Процедура за мерење Т-Хг у чврстим зорцима ила је следећа. Позната количина зорка (0,1–0,5 г) стављена је у волу метријску тиквицу од 50 мл. Након додавања 1 мл исте воде, 2 мл раствора азотне киселине у односу 1:1 пољорној киселини и 5 мл концентроване суморне киселине, оца је остављена да одстоји неколико минута, а затим загревана на рингли на  $230^{\circ}\text{C}$  за 20 мин. Након хлађења, за премина дигестирањем зорка је подешена на 50 мл са водом а одговарајући аликвот дојеног раствора ( $< 10$  мл) је анализирани садржај живе атомском сорпцијом спектрометријом глатке паре (ЦВААС) коришћењем полуаутоматског анализатора живе. (Модел Хг-201, Сансо Сеисаку сјо Цф., Лтд., Јапан). Одвојено, 1,0 мл воде стандардни раствор живе пречени су у три оца за дигестију зорка и третирањем поменути поступком да се додиром слипе и стандардни раствори за испитивање за мерење укупне концентрације живе.

Апсолутна граница детекције, израчуната као отрошност стандардне девијације слепог очитавања ( $n=10$ ), износила је  $0,02 \text{ ng}$ ; на  $0,2 \text{ g}$  узорка, граница детекције је износила  $0,1 \text{ } \mu\text{g/kg}$ . Поновљивост је потврђена дуплим мерењима у зорка земљишта/седимента, а варијација се кретала од  $0,3$  до  $11,5\%$  (средња вредност  $3,9\%$ ).

Поступак за одређивање концентрације органске живе у чврстиму зорцима

Концентрације орг-Хг су одређене методом Томиасу ет ал. (1996) са неким модификацијама (Томиасу ет ал. 2020а, ). Ова метода не захтева посебну опрему; врсте живе су одвојене екстракцијом раствора честица помоћу ЦВААС. У природном земљишту може бити присутна не само метилжива већ и етилжива (Томиасу ет ал. 2017а, ). Такосе овометодом може одредити укупна количина органских врста живе, од којих више од  $90\%$  отпада на метилмерцур. Процедура за мерење орг-Хг изведена је следећа. Позната количина узорка ( $1-5 \text{ g}$ ) стављена је у епрувету за центрифугирање за одређивање орг-Хг. Након додавања  $0,4 \text{ mL}$  ЦДЦ и  $10 \text{ mL}$  Мраствора ХЦД ( $3\% \text{ NaCl}$ ), епрувета је мућкана  $20 \text{ min}$ , а затим центрифугирана  $10 \text{ min}$  на  $2000 \text{ rpm}$ . Дојени су пернатанг је сипану другу епрувету за центрифугирање од  $50 \text{ mL}$ . Екстракција је поновљена у још  $10 \text{ mL}$  Мраствора ХЦД ( $3\% \text{ NaCl}$ ), а други су пернатанг је комбинован са првим

Комбинованимрастворима ХЦД у епрувети за центрифугирање додата је  $10 \text{ mL}$  толуена и епрувета је мућкана  $10 \text{ min}$ . После центрифугирања у трајању од  $2 \text{ min}$  у  $2000 \text{ rpm}$  раствор ХЦД је одлучен, а преостали толуен је очисти ендодавњем  $5 \text{ mL}$  Мраствора ХЦД ( $3\% \text{ NaCl}$ ) у епрувету и мућкањем током  $5 \text{ min}$ . Смеша је центрифугирана  $2 \text{ min}$  на  $2000 \text{ rpm}$  и  $7 \text{ mL}$  толуена је сакупљено у епрувету од  $10 \text{ mL}$  са поклопцем. Након додавања  $2 \text{ mL}$   $0,1\%$  раствора цистеина, епрувета је мућкана  $2 \text{ min}$  центрифугирана  $2 \text{ min}$  на  $1200 \text{ rpm}$ . Слој толуена је одлучен,  $1,5 \text{ mL}$  цистеинског слоја је разложено са  $\text{HNO}_3\text{-XClO}_4\text{-X}_2\text{SO}_4$ , а органска жива је измерена истом процедуром као што је коришћена за одређивање Т-Хг. Да се припремиле калибрационе криве, припремљени су аликвоти стандардних раствора МеХг у епруветима за центрифугирање од  $50 \text{ mL}$  како је описано за узорке земљишта. Поновљивост је проверена дуплирањем мерења аправиху зорка земљишта. Дуплицирање мерења су одступила за  $1,11 \pm 0,69 \text{ } \mu\text{g/kg}$  ( $n=9$ ). Тачност орг-Хг мерење је верификовано код сертифицираног референтног партнера риал ЕРМЦБ80 (естуарски седимент) који је припремио Заједнички истраживачки центар (ЈРЦ, Белгија). Резултати тренутних метода ( $0,077 \pm 0,004 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ;  $n=7$ ) или су у складу са референтном вредношћу за МеХг ( $0,075 \pm 0,004 \text{ } \mu\text{g/kg}$ ), (Организација, Токио, Јапана). Тхе

Аналитичка метода за одређивање орг-Хг у зорцима рибом у хитала је алкалнолу жење, за киселинавање ХЦД и екстракцију орг-Хг у толуен. Органска Хг у толуенском слоју је екстрахована у раствор цистеина, након чега је уследило ЦВААС мерење на конваланс дигестије. Тачност мерења орг-Хг је верификована коришћењем сертифицираног референтног материјала ЦРМ7402-а (ткиво акалара) који је припремио Национални металошки институт Јапана (НМИЈ). Вредност утврђена тренутном методом  $0,059 \pm 0,002 \text{ } \mu\text{g/kg}$  ( $n=7$ ) се докладала са референтном вредношћу од  $0,058 \pm 0,002 \text{ } \mu\text{g/kg}$  за МеХг. Апсолутна граница детекције, израчуната као отрошност стандардне девијације слепог очитавања ( $n=10$ ), износила је  $0,16 \text{ ng}$ ; на  $5,0 \text{ g}$  узорка, граница детекције је износила  $0,032 \text{ } \mu\text{g/kg}$ .

Пошто је МеХг доминантан ( $> 90\%$ ) међу врстама орг-Хг у природном окружењу, можемо дискутовати о понашању МеХг на основу концентрације орг-Хг дојене овометодом. Заиста, концентрација орг-Хг дојена методом се докладала са референтном вредношћу за МеХг. Дакле, „орг-Хг“ је коришћена мерна вредност, а „МеХг“ је коришћена за дискусију о понашању живе у животnoj средини у овој студији. Шематски дијаграм процедура за мерења Т-Хг и орг-Хг приказан је на слици С1.

Поступци за одређивање концентрације ФТ-Хг у зорцима воде

Метода за одређивање ФТ-Хг заснивала се на ацидификацији и оксидацији са БрЦД у комбинацији са УВзрачењем (Логарет ал. 2001) као последица. Раствор БрЦД је припремљен растворањем  $1,1 \text{ g}$  аналитичког реагенса КБРОВ и  $1,5 \text{ g}$  аналитичког реагенса КБРУ у  $20 \text{ mL}$  исте воде. Концентрација ХЦД ( $80 \text{ mL}$ ) је затим полако додата у раствор уз стално мешање (Бломи Црецилиус 1983). За мерења ФТ-Хг, филтрирани узорци воде су сипани у тefлонске оце и додата је  $0,5 \text{ mL}$  раствора БрЦД. После излагања УВзрачењу преко ноћи, додата је  $0,5 \text{ mL}$   $12\% \text{ H}_2\text{SO}_4\text{-XCl}$  да се разгради вишак БрЦД.

БрЦД оксидација у комбинацији са разградњом УВзрачења поставља јединица живе садржана у узорку воде у Хг<sup>2+</sup>. Узорак воде је сипану стаклени реакциони суд и додата је  $1 \text{ mL}$   $10\% \text{ SnCl}_2$  у  $2 \text{ mL}$  раствору ХЦД да се Хг<sup>2+</sup> редукова у Хг<sup>0</sup>. Искривљена ргном Хг<sup>0</sup> померање у зорку воде акумулирање као амалгамна порозном колектору злата.

Након тога, колектор је загрејан, а регенерисана жива пара је мерена атомском флуоресцентном спектрометријом за две паре (ЦВААС; модел РАЗ000ФГ олд + Ниппон Инструментс, Осака, Јапана). Тхе

Просечна релативна процентна разлика дуплих мерења ила је 6,4%, а граница детекције ила је 0,028 нг/л-1.

Поступци за одређивање концентрације Хг у атмосфери

Хг сакупљену епрувети је мерен коришћењем ЦААС двоструке амалгамације са ВА-4 системом за анализу живе (НИЦ Токио, Јапана). Овај систем се састоји од електричне пећи, коморе за хватање Хг, ваздушне пумпе за испоруку носећег гаса, вишепролазног аутоматског вентила и атомског апсорпционог спектрометра. Узорци садржани у порозним цевима од злата загревају се у пећина приликом 500 ° Ц. Гас носач је транспортно генерисану Хг пару у комору за хватање Хг, где је ила заробљена на порозном колектору злата. Порозни колектор злата је затим загреван приликом 500 ° Ц. Ослободена пара Хг је уведена у кварцну ћелију и измерена је њена атомска апсорпција на 253,7 нм. Ове операције су изведене аутоматски. Граница детекције (3σ) овог система (0,02 нг Хг) је доијена поновљеним одређивањем слепих узорка (n=9). Свака колекторска цев је калибрисана појединачно пре и после капања у зорковања мерењем познате количине пара Хг. Репродуцибилност поновљених мерења 2 нг Хг (n=5) ила је 2,2%.

ТОЦу у зорцима земљишта и анализа хемијског састава

Садржај ТОЦ је одређен као разлика између садржаја укупног угљеника (ТЦ) и неорганског угљеника (ИЦ) коришћењем анализатора укупног угљеника (ТОЦВ СЦЦ Сжима дзу Цф., Лтд., Јапана) причвршћеног на модуларног узорка (ССМ5000А, Сжима дзу Цф., Лтд., Јапана). Садржај ТЦ је одређен сагоревањем дела осушеног узорка (50 мг) на 980 ° Ц. Садржај ИЦ је одређен додавањем воденог раствора ХЗПО4 (1:1 в/в ХЗПО4:Х2О) у 50 мг осушеног

узорка земљишта, након чега следи загревање на 240 ° Ц. Хемијски састав узорка земљишта је анализиран техником флуоресценције дисперзивне рендгенске дифракције таласне дужине (ЗКС-мини ИИ, Ригаку Цф., Лтд., Јапана).

Статистичка анализа

За анализу података из генерисања графика коришћене су функције статистичке анализе Мицрософт Ексел-а за Матц (Мицрософт Цорпоратион САД). Једносмерна АНОВА је коришћена да се процени да ли постоје значајне разлике међу просечним концентрацијама живе са различитих локација за узорковање. За процену резултата коришћене је Студентов-т-тест са две локације. Регресиона анализа је коришћена за утврђивање односа између варијабли. Корелациона или вишеструка линеарна регресиона анализа је коришћена за успостављање односа између две варијабле. За све сврхе, значајност је постављена на  $p < 0,05$ .

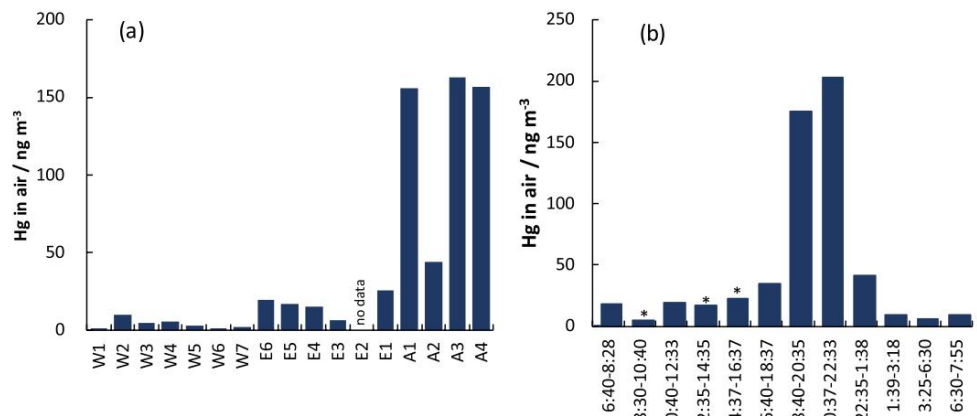
Резултати и дискусија

Варијације атмосферске концентрације живе

У 2017. години, у сакупљању тла, морске воде и доњих седимената околних вода, прикупљена је и мерена жива у атмосфери. Географске промене концентрације живе у атмосфери приказане су на слици 2(а).

Концентрација живе у атмосфери на локацијама у зорковања на источној али износила је 6,1–25,8 нг/м<sup>3</sup>, што је значајно више од вредности од 1,4–9,9 нг/м<sup>3</sup> уочене на западној али (неспарени т-тест,  $p < 0,05$ ). Просечна вредност од 3,1 ± 1,7 нг/м<sup>3</sup> на западној али Б2 може се сматрати позадинским нивоом атмосферске концентрације живе у овој области. Концентрација живе у атмосфери примећена на активном месту АСГМ

Слика 2 Варијација атмосферске живе дуж морске околних вода Мамула (а) и временска варијација атмосферске живе у граду (б). Једна звездица (\*) означава да је време прикупљања мало краткотрајног пролећа са пумпом



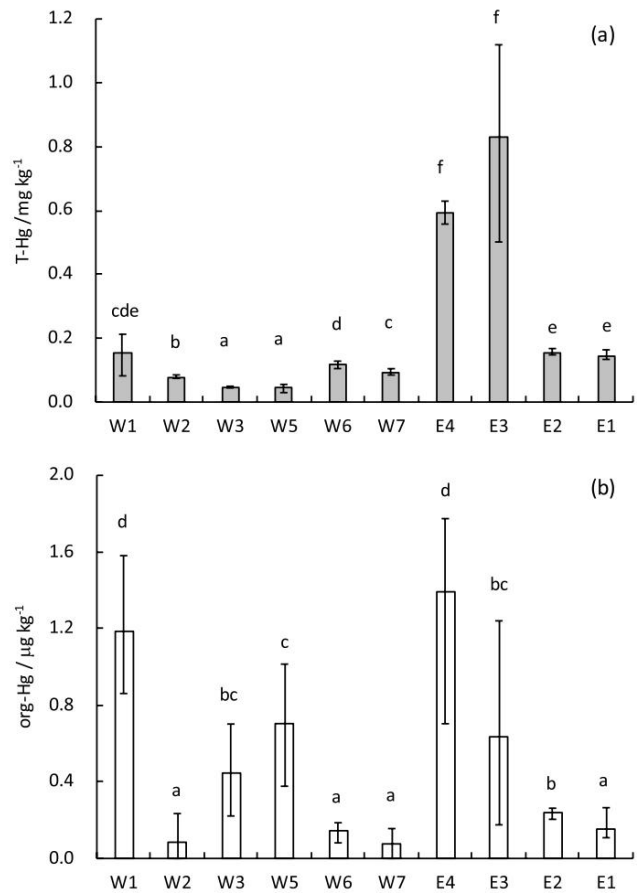
износио је 15,4–162,6 нг м<sup>-3</sup>. Жива коју емитују активности АСГМ се распршује, што резултира повећањем концентрације живе у атмосфери околног подручја.

С друге стране, очекивало се да ће вредност флукуирати у зависности од правца ветра и доада у зависности од процеса рада АСГМ. Због тога је временска варијација концентрације живе у атмосфери мерена свака 2 хт оком 24 х (слика 2); атмосферска жива се сакупљала свака 2 хна алкону на другом спрату на спавалици која се налази отприлике 100 м источно од Е5. Концентрација живе је почела да расте од 16:40 до 18:37, достигла максимум до 20:37 до 22:33, а затим се смањила. Највећа вредност живе од 203 нг м<sup>-3</sup> имала је исти ред величине као и вредност заележена на локацији АСГМ што су герисе да се спаљивање амалгам врши окоспавалице; процес спаљивања се може изводити иоу у зизегаванеочију јавности.

### Расподела Т-Хг и орг-Хг у земљишту

Аналитички резултати концентрације укупне и органске живе узорцима земљишта приказани су у табели 1.

Варијације дубине Т-Хг у земљишту приказане су на слици 3. Ниже вредности незначајних варијација примећене су на В3 и В5. Просечна  $\pm$  стандардна девијација концентрација Т-Хг ових локација,  $0,047 \pm 0,009$  мг кг<sup>-1</sup>, може се сматрати основном концентрацијом овог подручја. Из вредности се може рећи да су локације које показују концентрације Т-Хг веће од  $0,074$  мг кг<sup>-1</sup> (прос. + 3 $\sigma$ ) или подутицајем живе испуштене из антропогених извора. Расподела концентрације живе у облику приказана на слици 3. Примећене су веће концентрације Т-Хг



Слика 3. Просечне концентрације (а) Т-Хг и (б) органске живе у узорцима језгра земљишта на свакој локацији. Трака грешке приказује минималне и максималне вредности сваке локације. Различита слова изнад трака указују на значајне разлике између мерених параметара на различитим локацијама.

Табела 1. Укупна и органска концентрација живе у узорцима земљишта

Sample location	depth/cm	T-Hg / mg kg <sup>-1</sup>	org-Hg / µg kg <sup>-1</sup>	org-Hg/T-Hg, %	TOC, %	IC, %	Sample location	depth/cm	T-Hg / mg kg <sup>-1</sup>	org-Hg / µg kg <sup>-1</sup>	org-Hg/T-Hg, %	TOC, %	IC, %	Sample location	depth/cm	T-Hg / mg kg <sup>-1</sup>	org-Hg / µg kg <sup>-1</sup>	org-Hg/T-Hg, %	TOC, %	IC, %	
W1	0-2	0.082	1.02	1.24	7.69	7.83	E1	0-2	0.164	0.26	0.16	2.29	0	A4	0-2	0.278	0.28	0.10	4.70	0	
W1	2-4	0.130	1.22	0.94	6.83	8.12	E1	2-4	0.146	0.14	0.10	2.10	0	A4	2-4	0.275	0.14	0.05	4.61	0	
W1	4-6	0.201	1.58	0.79	5.33	8.93	E1	4-6	0.143	0.13	0.09	2.11	0	A4	4-6	0.258	0.00	0.00	4.26	0	
W1	6-8	0.212	1.23	0.58	3.74	10.06	E1	6-8	0.136	0.12	0.09	1.92	0	A4	6-8	0.234	0.32	0.14	3.97	0	
W1	8-10	0.155	0.86	0.55	3.35	9.96	E1	8-10	0.134	0.11	0.08	1.85	0	A4	8-10	0.179	0.15	0.09	3.92	0	
W2	0-2	0.085	0.23	0.28	5.60	0	E2	0-2	0.152	0.23	0.15	6.54	0	A5	0-2	0.038	0.23	0.60	0.63	0	
W2	2-4	0.079	0.00	0.00	5.22	0	E2	2-4	0.168	0.26	0.15	4.39	0	A5	2-4	0.038	0.34	0.90	0.30	0	
W2	4-6	0.077	0.00	0.00	4.63	0	E2	4-6	0.155	0.20	0.13	3.50	0	A5	4-6	0.033	0.40	1.21	0.26	0	
W2	6-8	0.076	0.18	0.24	4.38	0	E2	6-8	0.156	0.23	0.15	3.41	0	A5	6-8	0.036	0.00	0.00	0.12	0	
W2	8-10	0.074	0.00	0.00	4.39	0	E2	8-10	0.148	0.26	0.18	2.89	0	A5	8-10	0.026	0.00	0.00	0.08	0	
W3	0-2	0.050	0.22	0.45	2.79	0	E3	0-2	1.077	1.24	0.12	12.2	0	A7	0-2	0.378	0.38	0.10	1.60	0	
W3	2-4	0.044	0.30	0.68	2.50	0	E3	2-4	1.119	1.11	0.10	7.60	0	A7	2-4	0.272	0.25	0.09	0.78	0	
W3	4-6	0.046	0.50	1.08	2.11	0	E3	4-6	0.857	0.37	0.04	3.97	0	A7	4-6	0.138	0.17	0.13	0.53	0	
W3	6-8	0.047	0.70	1.49	1.95	0	E3	6-8	0.501	0.30	0.06	2.70	0	A7	6-8	0.085	0.16	0.19	0.32	0	
W3	8-10	0.049	0.49	0.99	1.71	0	E3	8-10	0.590	0.18	0.03	2.35	0	A7	8-10	0.056	0.11	0.20	0.24	0	
W5	0-2	0.048	1.01	2.12	1.89	0	E4	0-2	0.590	1.77	0.30	8.54	0		average	0.15	0.20	0.25	1.75	-	
W5	2-4	0.055	0.69	1.25	1.88	0	E4	2-4	0.629	1.71	0.27	5.60	0		stdev	0.12	0.13	0.36	1.90	-	
W5	4-6	0.053	0.72	1.35	1.46	0	E4	4-6	0.558	1.74	0.31	4.27	0								
W5	6-8	0.042	0.71	1.68	1.31	0	E4	6-8	0.607	1.04	0.17	3.73	0								
W5	8-10	0.030	0.38	1.27	0.88	0	E4	8-10	0.577	0.70	0.12	3.15	0								
W6	0-2	0.117	0.08	0.07	2.69	0		average	0.430	0.61	0.14	4.25	-								
W6	2-4	0.128	0.12	0.09	2.59	0		stdev	0.327	0.60	0.08	2.66	-								
W6	4-6	0.128	0.17	0.13	2.52	0															
W6	6-8	0.119	0.19	0.16	2.50	0															
W6	8-10	0.105	0.16	0.16	2.11	0															
W7	0-2	0.101	0.00	0.00	1.63	0															
W7	2-4	0.105	0.16	0.15	1.34	0															
W7	4-6	0.087	0.08	0.09	1.42	0															
W7	6-8	0.085	0.00	0.00	1.34	0															
W7	8-10	0.085	0.13	0.15	1.18	0															
	average	0.090	0.44	0.60	2.97	-															
	stdev	0.045	0.44	0.60	1.78	-															

на локацијама Е3 и Е4, што су герише да су ове локације иле подјакиму тицајем дисперзова не живе кроз ваздухиз АСГ М активности. На Е4, где је примећена највећа површинска концентрација живе, концентрација живе је порасла према површини и достигла максимума (слика С2). На локацији АСГ Му Западној Јави, Индонезија, максимална концентрација у узорцима земљишта примећена је на површини, а уочена вредност, 9,35, 1,77 и 1,48 мг кг<sup>-1</sup>, смањена је са растојањем од села где је жива коришћена за вађење злата према рду (Томиасу ет ал. 2013). Највећа концентрација на свакој локацији опадала је са дужином примећене су и сличне вертикалне варијације. Ове чињенице су герише да се жива емитована са радног места распршила и изазвала повећање концентрације живе на површини тла. Вредност од 1,48 мг кг<sup>-1</sup> примећена на око 1 км од села АСГ М ила је истог реда величине као вредности примећене на Е3 у тренутној студији, а вертикалне варијације су показале сличне трендове. Атмосферска концентрација живе може изазвати повећање концентрације живе у Е3 и Е4. Пошто се концентрација живе у атмосфери може променити са смером ветра, процесом руђења, итд., можда се неће лако поредити. Већа концентрација живе у земљишту уочена на Е1-Е4 (Сл. 3) у складу са запажањем да је концентрација живе у атмосфери на источној околици значајно већа од оне на западној околици. Чаки на најдубљем слоју прикупљеном на локацијама Е3 и Е4, концентрација Т-Хг, 0,590 мг кг<sup>-1</sup> и 0,577 мг кг<sup>-1</sup>, респективно, ила је неколико пута већа од процењеног позадинског нивоа овог подручја. Депонивана жива је можда продрла у дубљи слој земљишта испирањем отицајуће воде. Дужи узорци језгра (> 10 цм) иће потребни за квантитативну процену утицаја живе депониване из атмосфере на површину земљишта у овој области. Локације са најнижим концентрацијама органске живе иле су В2, В6, В7 и Е1, са просечном вредношћу од 0,11 ± 0,08 µг кг<sup>-1</sup> (слика 3). Највеће концентрације органске живе заележене су у Е4 и В1. Друга највећа група укључивала је В3, В5 и Е3; Е3 је показала највећу концентрацију Т-Хг, али су В3 и В5 показале најниже вредности. Као резултат тога, проценат орг-Хг према Т-Хг западне околице, 0,60 ± 0,60%, иоје значајно већи од оног на источној околици, 0,14 ± 0,08% (непарни т-тест,  $p < 0,01$ ). Присуство метил живе у тлу овог подручја може зависити од низа фактора, а не само од укључивања концентрације живе. На локацији АСГ М жива испоручена на површину тла из атмосфере показала је линеарну везу са садржајем ТОЦу земљишту

(Томиасу ет ал. 2017а, ). ТОЦтакође играважну улогу у формирању органске живе (Томиасу ет ал. 2020а, ). У овој студији, примећене су значајне линеарне везе ( $p < 0,01$ ,  $n = 50$ ) између ТОЦвс.

Т-Хг ( $p = 0,59$ ) и ТОЦнаспрам орг-Хг ( $p = 0,53$ ) и Т-Хг наспрам орг-Хг ( $p = 0,49$ ) графиконо. Органска материја у земљишту може ити јошједнаважан фактор за присуство метил меркарија у земљишту. Корелације између Т-Хг, орг-Хг и ТОЦ приказане су на Сл.С3.

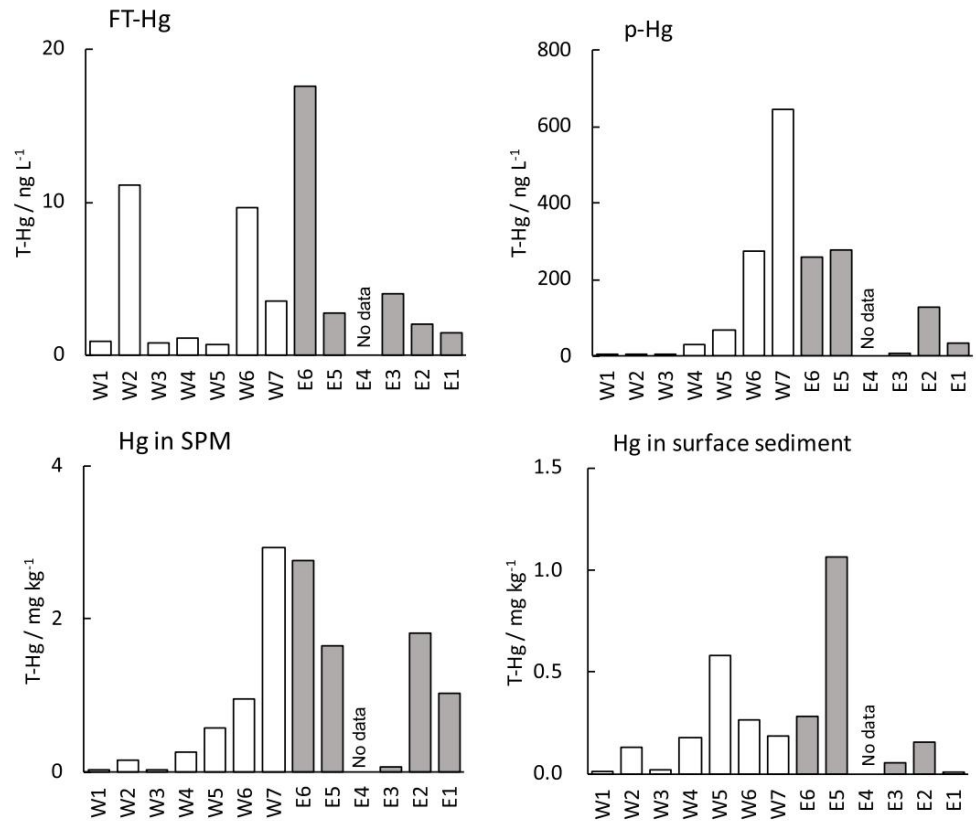
Концентрација живе у морској води и површинском седименту

Концентрације живе у узорцима воде и седимента прикупљенимду жморске околице залива Мамулао приказане су у табели С1. Није примећена значајна разлика између западне и источне околице у погледу концентрације живе.

Дистрибуција живе ду жморске околице приказана је на слици 4. Највиша концентрација филтерисане укључивања Хг (ФТ-Хг), 17,6 нг л<sup>-1</sup>, примећена је на Е6 и постепено се смањивала према Е1. Најниже вредности од 0,86 ± 0,19 нг л<sup>-1</sup> заележене су на В5-В1, искључујући В2; пошто је В2 малу луку, вода која се овде сакупља можда је ила под утицајем неких активности локалног стањивања осимруда рских активности. Концентрација од 0,86 ± 0,19 нг л<sup>-1</sup> може се сматрати позадинском концентрацијом растрованог Хг у морској води у овој области. Расподела п-Хг показала је тенденцију сличну оној код ФТ-Хг, у којој су веће вредности примећене на В6-Е5 и постепено опадале према ушћу залива. У случају ФТ-Хг, В5 и В4 су показали позадинске концентрације, али у п-Хг, В5 и В4 изгледа да су под утицајем живе из унутрашњег дела залива. Просечна вредност на В1 и В3, 2,4 нг л<sup>-1</sup>, може се сматрати позадинском концентрацијом п-Хг у заливу. У расподели Хг у СПМ (мг кг<sup>-1</sup>), највећа вредност од 2,94 мг кг<sup>-1</sup> заележена је на В7, што је за два реда величине више од најниже вредности заележене на В1. У дистрибуцији од живе у површинском седименту, површински седимент од В4 до Е2 показује значајно веће концентрације живе од онихиз В1 и Е1. Ова запажања су герише да је жариште Хг у заливу ило најдубље и део залива да су суспендоване честице игралеважну улогу у транспорту живе. Највиша концентрација п-Хг (644 нг л<sup>-1</sup>) примећена на В7 ила је прилижно 40 пута већа од највеће концентрације ФТ-Хг.

Распривање италожење контаминацијестика је можда изазвало повећање концентрације живе у површинском седименту у широком подручју залива.

Слика 4 Расподела живе дуж морске оале



Највиши п-Хг је примећен за В7, што је ило око два пута више од Е6, али је Хг у СПМ и оскоро једнак за В7 и Е6. Овај резултат значајан је на В7, два пута више суспендованих врсти материја илоу морској води у поређењу са Е6. Пошто око В7 нису пронађене реке на току, непознато је како су суспендоване материје доведене у воду В7. Биће потребне детаљније истраге да се разуме понашање суспендованих врсти у станици заливу.

Концентрација живе у води и седименту река које се уливају у залив Мамулао

Река Сапо и река Данаотеку у залив Мамулао од Е5 и Е6, респективно. Пошто су на овим локацијама уочене високе концентрације раствореног Хг у морској води (ФТ-Хг) и Т-Хг у површинском седименту, сумњало се да су реке извор живе у заливу (Сл. 4). Аналитички резултати узорака из ових река приказани су у табели 2. Концентрације ФТ-Хг, п-Хг и Хг СПМ у

Табела 2

Концентрација живе у води и површинском седименту Мамулао Баи

Локација	ФТ-Хг нг/л	п-Хг нг/л	Хг у СПМ мг/кг	Локација					
				Површински седимент Т-Хг мг/кг	ФТ-Хг нг/л	п-Хг нг/л	Хг у СПМ мг/кг	Површински седимент Т-Хг мг/кг	
В1	0,94	1,4	0,03	0,01	Е1	1,5	33,2	1,03	0,01
В2	11,13	6,2	0,16	0,14	Е2	2,0	127,3	1,82	0,16
В3	0,75	3,5	0,04	0,02	Е3	4,0	6,5	0,07	0,06
В4	1,10	29,5	0,26	0,18	Е4				
В5	0,66	68,4	0,57	0,58	Е5	2,8	276,8	1,65	1,07
В6	9,61	272,1	0,95	0,27	Е6	17,6	258,2	2,76	0,28
В7	3,50	644,2	2,94	0,19					
мин	0,66	1,4	0,03	0,01	мин	1,5	6,5	0,07	0,01
мак	11,13	644,2	2,94	0,58	мак	17,6	276,8	2,76	1,07
Просек	3,96	146,5	0,71	0,20	Просек	5,6	140,4	1,46	0,31
Ст. дев	4,51	239,6	1,04	0,19	Ст. дев	6,8	124,6	1,00	0,43

река Сапо износила је  $54,2 \pm 41,4$  мг/л,  $1,541 \pm 450$  мг/л и  $31,6 \pm 32,3$  мг/л, респективно; њихове концентрације у реци Данао биле су  $216 \pm 51,8$  мг/л,  $1,8064 \pm 1849$  мг/л и  $154 \pm 59,5$  мг/л. Као што је приказано на слици С4, концентрације живе у реци Сапо су имале тенденцију да опадају према ушћу од горњег тока. Извор живе ове реке може се лоцирати више у водно од СР1.

С друге стране, у реци Данао, концентрација живе у води је задржала високу вредност од горњег тока до ушћа реке. Извор живе може бити у сусрету реке.

Иако је укупна концентрација живе у седименту реке Данао,  $141 \pm 136$  мг/л, ила значајно виша од оне у реци Сапо ( $5,79 \pm 2,82$  мг/л), није илo значајне разлике у концентрацији ма орг-Хг у седименту између реке Данао ( $99,8 \pm 80,1$  мг/л) и реке Сапо ( $35,1 \pm 35,7$  мг/л). Пошто висока укупна концентрација живе не значи и високу концентрацију органске живе, укупна концентрација живе није контролни фактор за присуство органске живе у речном седименту. С друге стране, примећен је позитиван линеарни однос између концентрације ТОЦи концентрације орг-Хг (слика С5;  $n=10$ ,  $r=0,72$ ,  $p<0,05$ ). Органска материја може бити један од кључних фактора у погледу присуства орг-Хг у речном седименту.

Пошто су концентрације ФТ-Хг и П-Хг у речној води значајно веће од оних у морској води, главни пут живе испуштене АСГМ активности у заливу могу бити реке. Посебно за спендовање честице (СПМ), очени су укупни нивои живе до  $213$  мг/л. СПМ је главни транспортер живе, а његово тажење може изазвати повећање концентрације живе у седименту залива.

#### Вертикална дистрибуција нивоа укупне и органске живе у морском седименту

Да се процени утицај живе живе у заливу из реке, узорци језгра од 10–40 цм су сакупљени око ушћа реке (слика 1, у метак), и вертикалне варијације у Т-Хг, орг-Хг и ТОЦ% су испитани. Резултати су приказани у табели С2. Њихове вредности су показале сличну вертикалну

варијацију и имале тенденцију повећања према површини (слика 5). Опсег Т-Хг је био  $0,04$ – $9,49$  мг/л, а прва и друга највећа концентрација Т-Хг уочене су на ушћима реке Сапо (Е5) и реке Данао (Е6). Ова чињеница јасно указује да жива која се преноси рекама у тичене седимент. Најдуже језгро од 40 цм добијено је на локацији 7. На другом месту имало је  $24$  цм зорка језгра, концентрација Т-Хг се смањила и одржавала се на ниским нивоима. Просечна концентрација овог дела износила је  $0,13 \pm 0,07$  мг/л. Најдуже је Т-Хг

део друге зорке језгра (10 цм локација Е5 до 26 цм локација Е6; видети табелу С2) је очигледно ио веће и одте вредности. На седименту овој локацији тачка је жива коју испушта АСГМ најмање до дубине од 20 цм

Концентрација орг-Хг кретала се од  $16,1$  мг/л, а највеће концентрације су такође иле примећене на Е5. Пошто отпади из АСГМ и трећо у кључу јућ и орг-Хг, орг-Хг пронађену седименту је формиран током овог транспорта и/или након тажења: уочена је линеарна веза између концентрација Т-Хг и орг-Хг за сваки узорак језгра (слика С6), што указује да је порекло Хг садржаног у орг-Хг активност АСГМ. Из просечног процента орг-Хг језгара, процењено је да је прилично  $0,04\%$  живе ило представљено као орг-Хг у седименту залива Мамаула (Табела С2).

#### Т-Хг и орг-Хг у зорцима рибе из Мамаулао Баи

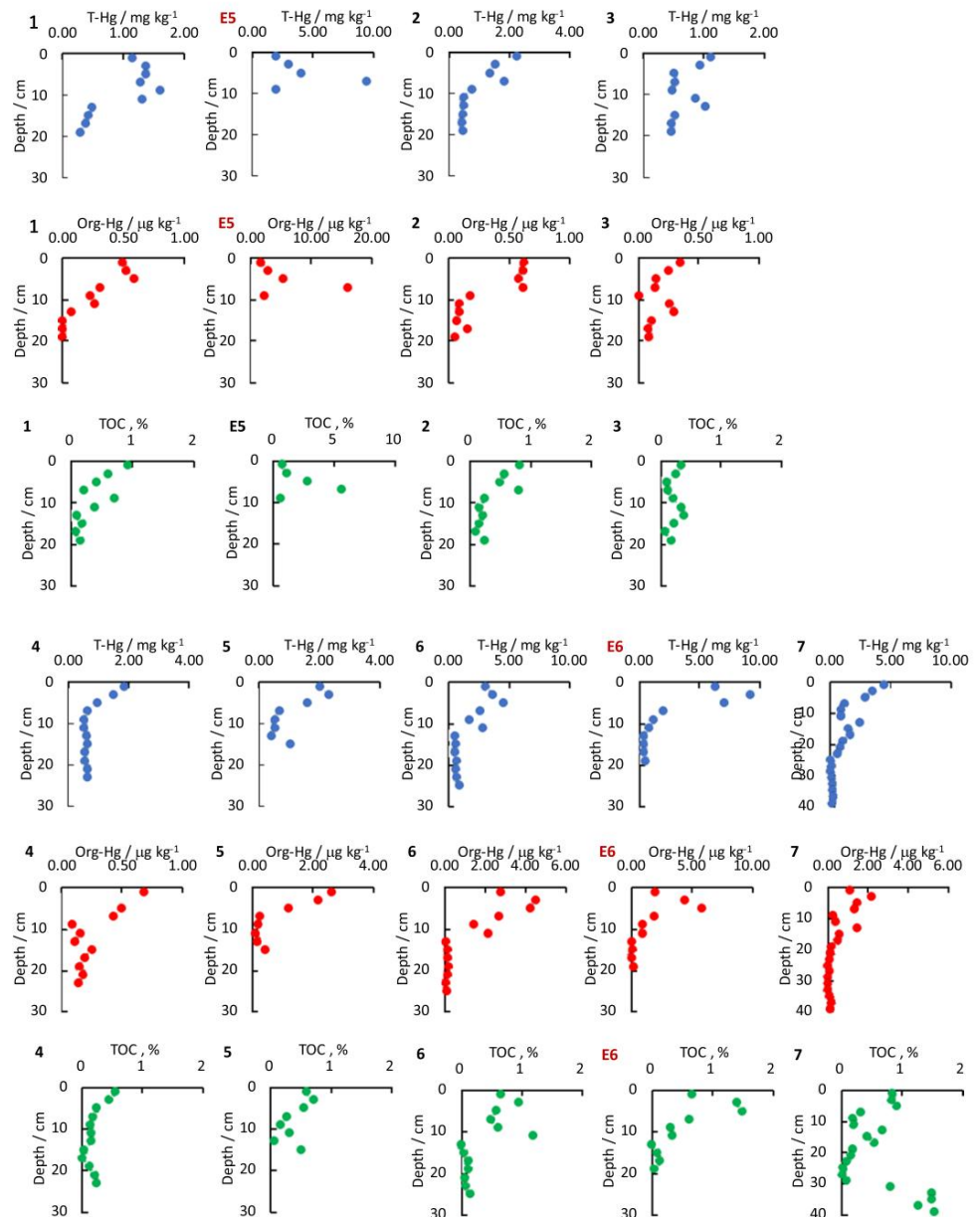
Узорци рибе сакупљени од рибара или рибарских пијача након што је потврђено да су ухваћени у заливу Мамаулаопу темингервуа. Добијено је и анализирано укупно 40 узорка из више од 20 врста (Табела С3). Опсег концентрација Т-Хг и орг-Хг у ази влажне тежине или су  $0,005$ – $1,02$  мг/л ( $ав \pm сд$ ;  $0,13 \pm 0,17$  мг/л) и  $0,005$ – $0,92$  мг/л ( $ав \pm сд$ ;  $0,13 \pm 0,17$  мг/л) сд;  $0,11 \pm 0,15$  мг/л), респективно. Процент орг-Хг у зорцима рибе ио је  $90,7 \pm 18,3\%$ . Међу 40 узорка, од три индивидуе са највећом концентрацијом живе, две су иле рогоза, а једна шарпина; једну зорку је показао вишу концентрацију Т-Хг од регуларног нивоа живе за рибу и шкољке од  $0,4$  мг/л у Јапану (Министарство здравља, рада и логистике 1973). Пошто су ове врсте риба предатора показале високе концентрације живе, жива метилова на животној средини се акумулирала иу већавала кроз ланец исхране.

#### Утицај живе испуштене АСГМ на активностима на животну средину

##### Утицај живе емитоване у атмосферу

На другом месту у Лоу, Цмаринес Нурте, где смо могли да присуствујемо операцијама сагоревања амалама, измерена концентрација живе достигла је  $0,3$  мг/л. Вредност је за један ред величине већа од регуларне вредности од  $0,025$  мг/л за радна места у Јапану (Министарство здравља, рада и социјалне заштите 1988). Пошто радно место није ило затворен простор и није ило система за рекултацију живе, емитована жива ће се проширити у околину и погудити не само раднике већ и локално становништво које живи око радног места. Иако смо могли да пронађемо радна места у градској локацији Хосе Панганиана, очигледно повећање

Слика 5 Вертикална варијација  
Т-Хг, орг-Хг и ТОЦу седименту  
залива Мамула



у атмосфери којој концентрација живе примећена је у нашој земљи. Просечна концентрација живе износила је 68 нг м<sup>-3</sup>, што је више од десет пута више од позадинске концентрације процене у овој области. Повећање атмосфере

концентрација сферичне живе може утицати на ниве групе, као што су деца, у будућности.

Део живе депонује из атмосфере може бити конвертовану МетХг помоћу микроорганизама у словима органоатоморганске материје (Гуимарес *et al.* 2000; Мунгет *et al.* 2001; Халл и Ст Лоуис 2004; Блогхет *et al.* 2003; Ериксен *et al.* 2003; Киу *et al.* 2005; Томиасу и др. 2012; Томиасу и др. 2017а, ; Томиасу и др. 2020а, ).

Као што је приказано на слици 5, орг-Хг у земљишту је показао значајну зависност од садржаја органске материје у овој студији.

Чињеница су герише да органска материја игра важну улогу у формирању МетХг у овој области. Иако орг-Хг чини само мали део укупне живе, високи нивои живе у атмосфери око локације АСГМ могу изазвати континуирано повећање нивоа живе на површини тла. Потребно је континуирано истраживање да се пратиле промене у нивоима живе и да се процени њихов утицај на екосистеме.

Утицај живе испуштене у водоводне системе

Екстремно високе концентрације живе у води и седименту примећене су у рекама Данао и Сапо. Концентрације растворене и честице живе у речној води кретале су се од 0,020–0,3 µг Л<sup>-1</sup> и од 0,2–10 µг Л<sup>-1</sup>,





- доц?да та Ид=74088000&дата Типе=0&пагеНб=1 Приступљено 28. августа 202
- МхенМ Деена М Рама сам ЕВ, Тхома АП (2012) Акумулација живе и других тешких метала у јестивим рибљим водама Цинцакватерс, Соутхест Индија, ЕнвиронМнт. Процена 184:4233–4245 Мрено-БрусхМ Ридерг Ј, Гамоа Н СторцХИ, БиестерХ (2016) Да ли је жива из малог ископавања злата преовлађујућа у југоисточној перуанској Амазонији? ЕнвиронПоллу 218: 150–159
- Мунгеј, ЛивенБ, ПаркманХ, ЛееИХ, Иверфелдт А, ХаралдсонЦ Верта М Порвари П (2001) Милност и метилација живе у шумском тлу, развој ин ситу тежике праћења стабилних изотопа и почетни резултати. Вода ВаздухСоил Полл Фочу с 1(3–4):385–393 МураоС, Маглам аианВБ, ДеЛаЦуз Н(Едс) (2002а) Рударствомалог оимау Азији, запажања у правцу решења проблема, Мининг Јоурнал Боокс Лтд, Лондон, стр. 62 МураоС, Дариса Е, Сера К, Маглам аианВБ, Фататсу гава С (2002 )
- ПИКСЕ мерење људске косе са малог рударског места на Филипинима. Нуцл Инст Метход Б 189:168–173 МураоС, ГотоС, ОюК, Сера К,
- Мцау жаи МЦуело Е, Галвез АБ, Авиадо СМП (2014) Детекција злата и живе у пиринну из оластизантске експлоатације злата на Филипинима. НМЦАннуал Репорт 21:101–106 (на јапанском са жеткомна енглеском)
- МураоС, Мцау жаи М Нариса ва Н Мфрои Т, Такенака Ц Панге Авиадо СМ (2017) Прелиминарна студија оризика од изложености живи за људе који конзумирају рибу храну из Цмаринес Нурте, Филипини. Гео-Пол Сц и Мед Геол У р анГеол 13:31–34 МураоС, Томиасу Т, ОюК, СматаХ,
- Нариса ва Н Такенака Ц (2019) Дистрибуција живе у оластизантске и мале експлоатације злата: студија случаја врхетачке у Цмаринес Нурте, Пхилип Пинес. Ингерн Ј ЕнвиронСц и Дев 10:122–129 Ниа не Б, Мритз Р, ГуедронС, НгомПМ ПфеиферХР, Мл И, Потеј (2014а) Утицај недавног занатског малог вађења злата на конгаминацију површинског ријечног златоносног: случај реке Гамеје, регион Кедоу гоу, југоисточни Сенегал. Ј Геоцхем Екплор 144:517–527 Ниа не Б, ГуедронС, Мритз Р, ЦрсиоЦ Нгом ПМ Девераја н Н ПфеиферХР, Потеј (2014 ) Изложеност људима живи у занатским оластима малих рудника злата у региону Кедоу гоу Сенегала, као функција професионалне активности и конзумације рибље. ЕнвиронСц и Поллу т Рес. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3913-5> Ниномиа Т, Омори Х, Хасхимото К, Тсурута К, Екино С (1995)
- Експанзија тровања метил живомизван Минамате: епидемиолошка студија о хроничном тровању метил живомизван Минамате. Енвирон Рес 70:47е50
- Оливеира Љ Хиландер ЛД, Силва ЕЦ (2004) Понашање живе у тропском окружењу: случај мале експлоатације злата у Поконеу, Бразил. Пракса заштите животне средине 6:121–134
- Пинедо-Хернандез Ј, Марруго-Негрете Ј, Диз С (2015) Спецификација и иодоступност живе у седиментима на које утиче експлоатација злата у Колумбији. Цемоспхере 119: 1289–1295 Киу Г, Фенг Кс, Ванг С, Сханг Л (2005) Жива и метил жива у приобалном тлу, седиментима, калциним рудничког отпада и мховини из напуштених рудника Хгу провинцији Источни Гуизху, Кина. Аплл Геоцхем 20: 627–638
- Реицелт-Брусетт АЈ, Стонеј, Хове П, Тхома С Б, Царк М Мале И, Нилои А, Буццхер П (2017) Геохемија и конгаминација живому приватним рудинама занатског рударског отпада и идентификована за рину тост заједност хране. Енвирон Рес 152:407–418 Самниг о Ј, Танџу линг МАН (2018) Физико-хемијске карактеристике отпадних вода из постројења за млину малом подручју рудника злата у Паракалеу, Камаринес Нурте, Филипини. Пхилипине Ј Сц и 147:343–356
- Страатен П (2000) Конгаминација живом повезана са малим рударством злата у Тавањи и Зимаву. Сци Тотал Енвирон 259:105–113 Такенака Ц Смата Х, Томиасу Т, Иасумтсу С, МураоС (2021)
- Ефектима миксировања акумулацију живе у земљишту приујетничком малом експлоатацији злата. ЕнвиронМнт Ассесс 193:699. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09394-3> Томиасу Т, Хамада ИК, Комамата ни Х, Хидати Ни Рахајое Ј С (2019а) Транспорт врста живе рекомизантске и мале експлоатације злата на Западу Јава, Индонезија. ЕнвиронСц и Полл Рес 26:25262–25274
- Томиасу Т, Хамада ИК, Барансао Ц Хидати Ни Рахајое Ј С (2019 ) Временска варијација у преносним количинама живе речним системима лизини оластизантског и малог рударства злата у Западној Јави, Индонезија. ЕнвиронЕартхСц и 78: 686–695 Томиасу Т, Хамада ИК, Барансао Ц Комамата ни Х, Мтсуиа ма А, Имура Р, Хидати Ни Рахајое Ј С (2020а) Концентрације живе у земљишту ризле и слатководним живима ома мале експлоатације злата оласт, Западна Јава, Индонезија. Тек Енв ХеалтхСц и 12:23–29 Томиасу Т, Коно И, Комамата ни Х, Хидати Ни Рахајое Ј С (2013)
- Дистрибуција живе око подручја малих рудника злата дуж реке Чиканики, Богор, Индонезија. Енвирон Рес 125:12–19
- Томиасу Т, Нагаю А, Сакамото Х, Ионежара Н (1996) Диференцијално одређивање органске живе и неорганске живе у седименту, земљишту и воденим организима помоћу атомске апсорпционе спектрометрије плазме плазме. Анал Сц и 12:477–481 Томиасу Т, Комамата ни Х, Имура Р, Мтсуиа ма А, Миамото Ј, Акаги Х, Коцман Д, Котник Ј, Фанон В, Хорват М (2017а) Динамика живе у лизини рудника живе Идрија, Словенија: хоризонталне и вертикалне дистрибуције укупне, метилне и етилне концентрације живе у земљишту. Цемоспхере 184: 244–252 Томиасу Т, Комамата ни Х, Хамада ИК, Мтсуиа ма А, Имура Р, Такигуцхи И, Хидати Ни Рахајое Ј С (2017 ) Дистрибуција укупне живе и метил живе око подручја малих рудника злата дуж реке Чиканики, Богор, Индонезија. ЕнвиронСц и Поллу т Рес 24:2643–2652
- Томиасу Т, Барансао Ц Хамада ИК, Комамата ни Х, Канваки Р, Хидати Ни Рахајое Ј С (2020 ) Дистрибуција укупне и органске живе у земљишним окозана тског и малог подручја ископавања злата у Западној Јави Индонезији. СНАПл Сц и 2:1213 У НЕП (2013) Глобална процена живе (2013): Извори, емисије, испуштања и транспорт у животну средину. У НЕП Цемисцалс Брандх Женева, Швајцарска, стр. 1–32 Ву Х, Динг З, Лиу И, Лиу Ј, ИанХ, Панј, Ли Л, ЛинХ, Линг, Лу Х (2011) Метил жива и редукација сулфатаактерије у седиментима људских шума из ушћа реке Јиулонг, Кина. Ј ЕнвиронСц и 23:14–21 Иу РК, Фландерс Ј Р, Мццкее Е, Турнер Р, Мирза МБ, Баркаи Т (2012)
- Допринос когезирајућихактеријакоје редукују сулфат и гвожђе производње и метил живе у слатководним речним седиментима. ЕнвиронСц и Тецнол 46:2684–2691
- Напомена издавача СпрингерНауте остаје неутрална у погледу потраживања јурисдикције о јавним именима и институционалним везама.
- СпрингерНауте или његова власница лиценцирају искључива права на овај чланак према уговору о јављивању са аутором(има) или другим носиоцима права (има); ауторско право живирање прихваћене рудничке верзије овог чланка је искључиво регистровано у словима таквог уговора о јављивању и важећим законима