

Z oběžné dráhy zemědělcům

Půdu můžete promnout mezi prsty. Můžete ji analyzovat těmi nepřesnějšími přístroji v laboratoři. A můžete ji také snímkovat optickými senzory ze satelitů a ze spekter usuzovat na její kvalitu nebo míru znečištění. Asa Gholizadeh z České zemědělské univerzity v Praze vyvíjí metody, které umožňují získat tímto způsobem co nejspolehlivější informace. Její projekt snažící se optimalizovat využití hyperspektrálních satelitních dat získal cenu předsedy GA ČR.

text **ONDŘEJ VRTIŠKA**

Co nám satelitní data mohou říct o vlastnostech půdy? — V oceněném grantovém projektu šlo konkrétně o kontaminaci půdy v Evropě těžkými kovy, ať už v okolí

dat, konkrétně spektrálního složení světla odraženého od zemského povrchu. Potřebné snímky lze získat ze satelitů NASA a ESA, většina z nich je volně dostupná.

„Metody precizního zemědělství využívá stále více farmářů, protože během několika let vidí výsledky. Spotřeba hnojiv klesá, aniž by se to negativně projevilo na výnosech.“

vytěžených povrchových dolů, nebo z jiných zdrojů. Monitoring této kontaminace je velmi důležitý, protože těžké kovy nepříznivě ovlivňují životní prostředí a přes potravní řetězce ohrožují člověka. Většina lidí chápe nebezpečí spojené se znečištěnou vodou, u půdy má řada z nás tendenci rizika podceňovat. Pro měření kontaminace existují tradiční rutinní metody - odběr vzorků půdy a jejich laboratorní analýza. Je to však časově náročné, drahé a využívají se k tomu chemikálie, které jsou toxické, takže analýza sama je dalším zdrojem kontaminace životního prostředí. Abychom se tomu vyhnuli, hledali jsme metodu, která by byla levná, rychlá a šetrná k životnímu prostředí. Takovým řešením je využití satelitních

Jednou z nejdůležitějších je dvojice satelitů Sentinel-2.

Ty jsou součástí evropského programu Copernicus. — Ano. První ze satelitů byl vypuštěn v roce 2015, druhý v roce 2017. Každý z nich snímá stejné místo na zemském povrchu jednou za deset dní, takže společně poskytují aktuální data vždy jednou za pět dnů. Stačí si je na stránkách ESA stáhnout. Náročnější je matematické zpracování takto získaných dat, ale rozhodli jsme se, že to zkusíme. Zpočátku jsme nevěděli, jak přesné údaje lze touto cestou získat. Museli jsme to ověřit srovnáním s klasickou laboratorní metodou. Měli jsme k dispozici jak rutinní chemickou analýzu, tak spektrometr

měřící ve viditelné, blízké infračervené a krátkovlnné infračervené části spektra, tedy ve stejné oblasti, v jaké měří Sentinel-2. Takový spektrometr poskytuje velmi spolehlivé výsledky. Jeho nevýhodou je, že i pro něj potřebujete nasbírat vzorky a měření provést v laboratoři. A proměříte jen malou plochu, kdežto satelit dokáže zmapovat rozsáhlé území.

Jak srovnání metod dopadlo? — Naše studijní oblast byla u Příbrami. Kromě toho jsme měli kolegu, který pracoval se vzorky z Íránu, takže jsme pro srovnání využili i jeho data. Ukázalo se, že v porovnání s laboratorní analýzou dosahuje využití satelitních dat asi 65-80% přesnosti. Což je při tak velkých měřítkách velmi dobrý výsledek. Když vezmete v úvahu výhody a nevýhody obou přístupů, využití satelitních dat se jeví jako smysluplné.

Zmínila jste výhodu spočívající v tom, že ze satelitů dostáváte data každých pět dní. Proč je to důležité? Kontaminace půdy se může měnit tak rychle? — Není statická, alespoň ne vždy. Například jedna z oblastí byla u řeky a víte, co voda umí. Znečišťující látky mohou být ovlivněny větrem a nánosem prachu, mohou se dostat do hlubších vrstev nebo být odneseny jinam. A nejde jen o přímé změny znečištění. Statické nejsou ani další faktory. Mění se pH, obsah organického uhlíku nebo poměr uhlíku a dusíku, a to vše chování těžkých kovů ovlivňuje. Mění se množství vegetace, která těžké kovy absorbuje. Možnost studovat dynamiku znečištění je proto důležitá.

Jak to funguje? Ze satelitních snímků získáte informace pouze o povrchu. Předpokládám, že je potřeba zjistit také to, co se odehrává v hlubších vrstvách. — To je jedna z nevýhod dálkového průzkumu. Samozřejmě nemůžeme tvrdit, že dálkový průzkum je dokonalý. Poskytuje spolehlivá data o vlastnostech půdy do hloubky asi 15 cm, nanejvýš 20 cm. Pokud je kořenový systém rostlin v této hloubce, stačí nám to. Zasahuje-li hlouběji, přesnost klesá.

Co když je půda pokryta vegetací? — To je další problém. Na jeho řešení jsme podali další grantovou žádost a doufám, že grant získáme. Když je v oblasti, která vás zajímá, holá půda, je to snadné, protože měříte pouze odrazivost od půdy. Vegetace to komplikuje. Pro posuzování vlivu rostlinného pokryvu se využívají různé indexy. Zjednodušeně řečeno: je-li index vyšší než nějaká daná hodnota, ukazuje to na vliv vegetace, který pak lze odfiltrovat. Využíváme i tzv. maskování - maskujeme pixely, ve kterých jsou spektrální data ovlivněna



M.Sc. ASA GHOLIZADEH, Ph.D., pochází z íránského Mašhadu, kde vystudovala zemědělské inženýrství. Doktorát z precizního zemědělství získala na univerzitě Putra v Malajsii (2011). V roce 2013 se svým mužem odešla do České republiky. Působí na katedře pedologie a ochrany půd na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze. Jako hostující vědkyně nebo konzultantka působila ve Francii, Německu, Austrálii a dalších zemích. Zabývá se vývojem nových metod pro mapování a monitorování půdy s využitím technologií proximálního a dálkového průzkumu. S juniorským grantovým projektem *Hodnocení kontaminace půdy s využitím hyperspektrálních satelitních dat* (2018–2021) letos získala cenu předsedy Grantové agentury České republiky v kategorii věd o neživé přírodě (viz Vesmír 101, 602, 2022/10).

vegetací, takže pracujeme pouze s odrazy od holé půdy.

V praxi je možné obě metody kombinovat: Můžete získat celkový obraz ze satelitních dat a podrobnosti prostřednictvím tradiční analýzy? — Přesně tak. A využívat lze i nepřímé indikátory. Například na loukách nebo pastvinách je půda kompletně porostlá trávou, takže spektrální analýza je obtížná. Ale vegetace na přítomnost těžkých kovů v půdě reaguje velmi výrazně. Pozorujete vadnutí, stres, který se spektrálně projeví např. v koncentraci chlorofylu nebo v obsahu vody.

Jaké je rozlišení satelitních dat? — Pokud jde o prostorové rozlišení, u Sentinelu-2 to je 30 metrů. Ale neméně důležité je množství a šířka spektrálních pásem. Většina satelitů, které dnes operují na oběžné dráze, patří mezi multispektrální. To znamená, že mají maximálně dvacet pásem. Ale v roce 2019 byla vypuštěna italská družice PRISMA a letos v dubnu Německé středisko pro letectví a kosmonautiku (DLR) vypustilo satelit EnMAP. Obě tyto družice jsou hyperspektrální - mají více než 200 pásem. To slibuje mnohem vyšší přesnost, pro analýzu půdy budou dokonalé. PRISMA už poskytuje data, jsou zdarma, ale problém je v tom, že se k nim nelze snadno dostat. Nemůžeme si je sami stáhnout jako u Sentinelu-2, jsou na vyžádání. Je nutno obrátit se na Italskou kosmickou agenturu, a pokud požadovaná data má, poskytne nám je. Z EnMAP zatím

Snímek Hana Brožková, GA ČR

žádná data zveřejněna nebyla, netrpělivě na ně čekáme.

Jak se satelitní data zpracovávají? — Potřebujeme pokročilé statistické a matematické techniky, abychom získali použitelné výsledky. Bylo vyvinuto mnoho algoritmů strojového učení, v posledních pěti až deseti letech zaznamenaly obrovský boom. Jinak bychom se v našich datech nevyznali. Představte si, kolik má každý satelitní snímek pixelů. A z každého pixelu je potřeba analyzovat spektrum, odfiltrovat rušivé vlivy. Velmi nám pomáhají metody hlubokého učení.

Potřebujete tedy mezioborový přístup. V týmu musí být lidé, kteří rozumějí půdě, i ti, kteří si poradí s algoritmy. — Je to tak. V týmu jsou pedologové, kteří rozumějí půdní chemii a fyzice. Další lidé se zabývají dálkovým průzkumem země a zpracováním obrazu. A další pracují s umělou inteligencí, s algoritmy hlubokého učení. Je to týmová práce, jinak by to nešlo.

Zabýváte se i zjišťováním obsahu organického uhlíku v půdě. Proč je to důležité? — Obsah organického uhlíku je jedna z nejdůležitějších charakteristik půdy. Mnoho jejích ostatních vlastností s ním souvisí. Půdu můžeme považovat za zdravou, jen když je v ní dostatečné množství organického uhlíku. Jinak nastává mnoho problémů spojených se zadržováním vody, s desertifikací, s erozí. V našem tříletém projektu, na němž spolupracujeme s Evropskou kosmickou agenturou, mapujeme organický uhlík s využitím satelitních dat na území celé Evropy. Pro analýzu těchto dat jsme vyvinuli speciální techniku hlubokého učení, která funguje velice dobře. Práci dokončíme příští rok, hlavním výsledkem by měla být mapa organického uhlíku pro celou Evropu.

Jak organický uhlík souvisí s těžkými kovy? — Těžké kovy samy o sobě nemají žádné výrazné spektrální vlastnosti, zvláště při nízkých koncentracích. Ale vážou se na jiné složky půdy, které jsou spektrálně aktivní - organický uhlík, jíł, oxid železnatý... A toho můžeme využít. Těžké kovy velmi silně korelují s obsahem organického uhlíku. Takže informace o něm pomáhají odhadnout i množství těžkých kovů.

Čekal bych, že do hry vstupuje více faktorů, takže interpretace nebude jednoduchá. — Samozřejmě to není jediný faktor. Půda je velmi složitá a nedá se říct, že to, co se v ní děje, je přesně kvůli tomuto parametru. Je tam příliš mnoho proměnných, které se navzájem ovlivňují. Ale organický uhlík je jednou z nejdůležitějších.

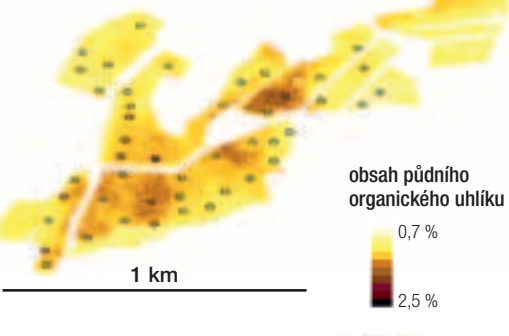
Pro organický uhlík využíváte také data ze Sentinelu-2? — Ano, první práci jsme publikovali v roce 2018. Byla vůbec první, která se týkala uhlíku a data k ní byla získána pomocí Sentinelu-2.¹ Jeden z našich kolegů přibližně ve stejné době pracoval na stejném úkolu. Ale měli jsme štěstí, že jsme své výsledky publikovali dříve. Jakmile byla data ze Sentinelu-2 uvolněna, pustili jsme se do jejich analýzy. Analyzovali jsme obsah organického uhlíku a texturu půdy (obsah jílu, prachových částic a písku) pro čtyři oblasti v České republice. Kromě satelitních dat jsme využili i letecké snímky z hyperspektrální kamery, které pro nás pořídil brněnský ústav CzechGlobe. Pracovali jsme s osmnácti různými indexy, s jejichž pomocí jsme trénovali předpovědní modely, abychom z dostupných dat získali co nejvěrnější výsledky. Díky indexům jsme odfiltrovali například vliv půdní vlhkosti. Z porovnání všech metod vyšlo najevo, že pro organický uhlík a pro množství jílu v půdě poskytla data ze satelitního snímkování spolehlivé výsledky. Multispektrální Sentinel-2 byl méně přesný než letecké snímkování hyperspektrální kamerou a data z laboratorního spektrometru, ale rozdíl nebyl zásadní a vyvažuje ho rozsáhlé prostorové pokrytí a vysoká frekvence opakovaného snímkování téže oblasti, které satelity nabízejí.

Používají se už satelitní data v praktických aplikacích precizního zemědělství? — Laboratorní spektroskopická data se využívají už v mnoha zemích, to je záležitost posledních dvaceti let. Ale využití satelitních dat je teprve na počátku. V České republice o tom zatím nevím, ale jinde už s tím začínají, nejdále jsou v Belgii.

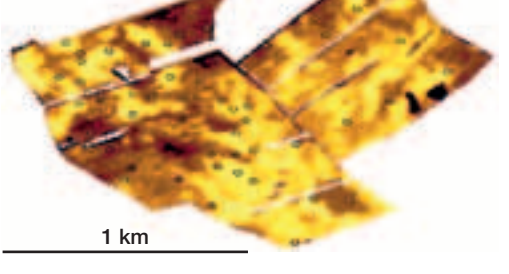
K čemu konkrétně jsou takové informace farmářům dobré? — Podívejte se například na mapu obsahu organického uhlíku (viz obr. 1). Díky ní farmář přesně vidí místa, kde je uhlíku dostatek a nemá smysl tam aplikovat organické hnojivo. Pokud hnojí všude stejně, hnojivem plýtvá. Je to neekonomické a necitlivé k životnímu prostředí. Díky mapě zemědělec může na různá místa použít právě tolik hnojiva, kolik je potřeba. Podobné mapy může mít k dusíku, fosforu, draslíku... Šetří peníze i životní prostředí. Metody precizního zemědělství využívá stále více farmářů, protože v ně mají důvěru. Během několika let vidí výsledky - spotřeba hnojiv klesá, aniž by se to negativně projevilo na výnosech.

Pocházíte z Íránu. Kdy jste přišla do České republiky? — Vyrůstala jsem v Mašhadu na severovýchodě Íránu, je to druhé nejlidnatější město země. Tam jsem studovala v magisterském stupni. Doktorské studium jsem absolvovala v Malajsii. Do České republiky jsem odjela rok po doktorátu, v roce 2013.

Přestavky



Šardice



MAPA OBSAHU organického uhlíku na dvou lokalitách (Přestavky, Šardice) získaná s využitím snímků ze satelitu Sentinel-2. Asa Gholizadeh s kolegy pracuje na podobném zpracování celého evropského kontinentu.

Zdroj Gholizadeh A. et al.: Remote Sens. Environ., 2018, DOI: 10.1016/j.rse.2018.09.015

O využití dat ze satelitů jste se začala zajímat v Malajsii, nebo až tady? — V Malajsii jsem používala spektroskopickou analýzu, která už nebyla vázaná na laboratoř. Pracovali jsme s mobilním spektrometrem, který se tahá za traktorem po poli. Takže už není nutno odebírat vzorky a pracně je připravovat pro laboratorní analýzu. Můj manžel v té době pracoval na využití dat z družic Landsat a z dronů. Spojili jsme tedy jeho zkušenosti s dálkovým průzkumem Země a moje se spektroskopii a začali jsme spolupracovat. V té době jsme se přestěhovali do České republiky, kde jsme tuto spolupráci rozvinuli.

Váš muž je také z Íránu? — Ano, ale potkali jsme se v Malajsii. Já jsem byla doktorandka, on v posledním ročníku magisterského studia. V České republice dokončil doktorát a začal pracovat na Jihočeské univerzitě. Věnuje se především strojovému učení a zpracování obrazu. Po pěti letech odešel do Berlína, do Helmholtzova centra v Postupimi. To mi otevřelo cestu ke spolupráci s německými kolegy.

Jak často se vidáte? — Nejlepší to v tomto ohledu bylo v době pandemie. Pracovalo se



z domova, tak jsme byli spolu buď v Berlíně, nebo (většinou) v Praze. I nyní může 40 % času pracovat z domova, což mu dává možnost být třeba dva týdny v Německu a potom přijet na týden za mnou. Já také mohu jednou za čas na týden odjet a pracovat vzdáleně, protože neučím a náš vedoucí katedry mi vychází vstříc. Takže jsme pořád na cestách, ale dva týdny v měsíci jsme spolu. To se dá zvládnout.

Po našem rozhovoru odlétáte do Istanbulu za rodiči. Oni také odešli z Íránu? — Ne, ale získání schengenských víz je dlouhý proces a domluvili jsme se, že tentokrát se potkáme na půl cesty. Byli tady zatím dvakrát, já za nimi do Íránu jezdím každý rok - s výjimkou covidové doby.

Plánujete se do Íránu někdy vrátit? — Mám ke své rodné zemi hluboký vztah, miluju ji. A mám velmi blízko ke své rodině - v Íránu to neznamená jen nejbližší rodinu, ale i všechny sestřenice a bratrance... Pokaždé, když tam jedu, se s nimi všemi moc ráda vidím. Ale podívejte se, jak to nyní v Íránu vypadá. Nemohla bych tam začít pracovat - ta země nyní není pro mě a já pravděpodobně nejsem ten pravý člověk pro ni. Kdybych se chtěla vrátit, nejvhodnější doba byla po doktorátu, ne po šestnácti letech života v zahraničí. Bylo by těžké začínat od nuly.

Mluvíme spolu koncem září, krátce po vypuknutí protestů, které se rozhořely poté, co mravnostní policie zabila Mashu Amini. Těžko odhadovat, jaká bude situace začátkem listopadu, až rozhovor vyjde. Věříte, že se v Íránu může něco změnit? — Tento režim trvá už 44 let. Rozhodně v něm

není všechno v pořádku, ale lidé byli dlouho relativně spokojení. Před třinácti lety vypukly velké protesty po prezidentských volbách, s jejichž oficiálními výsledky lidé nesouhlasili. Protesty trvaly několik dní, ale nakonec skončily neúspěchem. Mnoho lidí bylo zabito, mnoho uvězněno. A následovalo několik let ticha. Až před třemi lety vypukly další protesty, které opět vyšly do ztracena. Těžko říct, jak to dopadne tentokrát.

Před třemi lety byly protesty motivovány především ekonomickými potížemi. — Ano, ceny pohonných hmot skokově vzrostly až na čtyřnásobek. Byla vysoká inflace, vše se zdražovalo. Tentokrát je za protesty jiný příběh. A poprvé jsou v první linii ženy. Většinou mladé, od šestnácti do třiceti let. Protesty se rozšířily i mimo Írán, nespokojenost se zdá silnější než dříve. Ale nemáme dost informací. Vlášním informacím věřit nemůžeme, těm opozičním nekriticky také ne. Internet je nyní omezený, s rodiči jsme si museli volat přímo, nefunguje WhatsApp, Instagram, Facebook, dokonce i Google je filtrovaný. Jedna věc jsou chyby stávajícího režimu a spontánní lidový odpor vůči nim, druhá jsou skupiny, které by nepokojů rády využily ve svůj prospěch. A ne vždy jednájí v zájmu lidí. Ať se stane cokoli, doufám, že výsledkem bude více svobody pro Íránce. A především pro ženy, kterým se svobody nejvíce nedostává.

Jak se situace žen v Íránu podle vás v průběhu let vyvíjela. Zlepšovala se? — Myslím, že ano. Například na vysokých školách nyní ženy představují asi 70 % studentů. Ženy se dostaly na mnoho pozic ve státní správě. I zákon regulující nošení hidžábu

je už volnější. Ale stále je příliš mnoho situací, v nichž jsou ženy pod tlakem. Zvenčí to může být těžko uvěřitelné. Například pokud v autě srazíte chodce, který zemře, musíte jeho rodině zaplatit odškodné. A jeho výše je poloviční, pokud je obětí žena. Má snad ženský život poloviční hodnotu než mužský? Žena také nemůže požádat o rozvod, i kdyby se muž choval jakkoli hrozně. Výjimkou jsou drogová závislost a vážné psychické problémy. Naopak muž si může vymyslet jakoukoli záminku a druhý den může jít k soudu a rozvést se. Po rozvodu dítě automaticky připadá otci. Muži stále rozhodují o tom, jaké oblečení mohou ženy nosit; jakou barvu, jakou délku, jaký střih... Masha Amini zemřela kvůli volbě oblečení. Proto se svoboda oblékání stala symbolem současných protestů.

Je nějaký rozdíl mezi velkými městy a venkovem? — Velký. V malých vesnicích se dodnes praktikuje plánované manželství, o kterém dívka nerozhoduje. Některé dívky nepustí do města na vysokou školu, i kdyby studovat chtěly. Spousta situací, v nichž mají ženy menší práva než muži, je zvykových, kulturně podmíněných.

Jak by se podle vás měl Írán změnit? — Za mne nejde ani tak o změnu režimu, protože kdo ví, jak by vypadal ten nový. Kdo by se chopil moci. Pro mne je důležitější osobní svoboda. Aby lidé mohli žít normální život beze strachu a aby ženy měly stejná práva jako muži. Musel byste strávit nějaký čas v kůži íránské ženy, abyste plně pochopil, jak důležité je, aby došlo ke změně. Přála bych si, aby íránské ženy mohly ve své vlasti plně rozvinout svůj potenciál. ●

LIDÉ V ÍRÁNU SE BOUŘÍ. Protesty vyvolala smrt dvaadvacetileté Mashy Amini, která zemřela po zákroku mravnostní policie. Asa Gholizadeh doufá, že protesty povedou k větší svobodě a k zrovnoprávnění žen.

Snímek Profimedia

^[1] Gholizadeh A. et al.: Remote Sens. Environ., 2018, DOI: 10.1016/j.rse.2018.09.015.