



第十九届中国生态学会大会

2020. 11. 21-23 生态科学新使命：促进人与自然和谐



中蒙俄经济走廊东段冻土时空变化模拟及植被响应

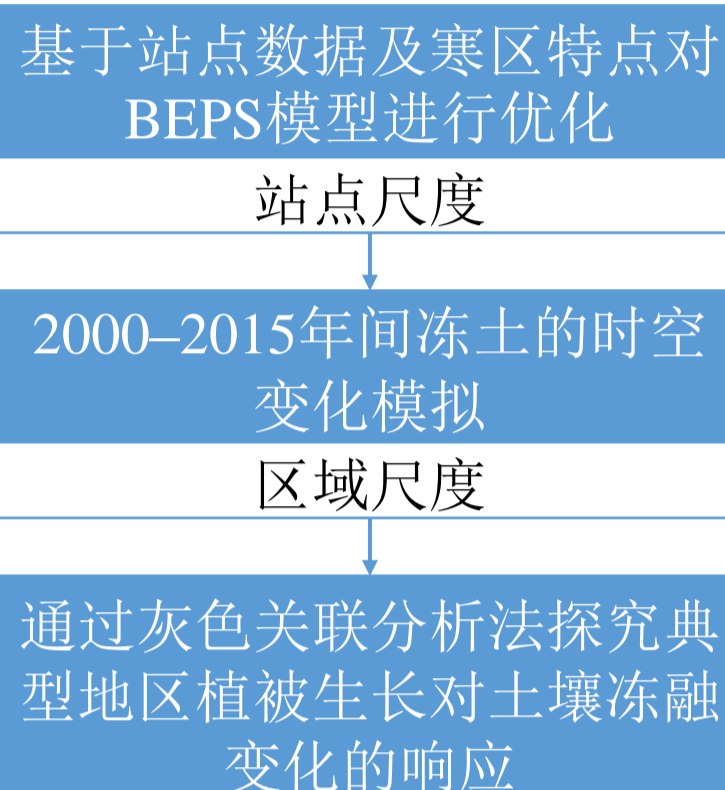
作者：刘侦海¹, 王绍强^{1,2,3}, 陈斌^{2*}

单位：1. 中国地质大学（武汉）地理与信息工程学院，2. 中国科学院地理科学与资源研究所生态系统观测与模拟院重点实验室，3. 中国科学院大学资源与环境学院

科学问题

- 基于优化后的BEPS模型进行的模拟，中蒙俄经济走廊东段地区土壤冻融将表现怎样的时空分布规律？
- 研究区内典型地区的植被生长如何响应土壤冻融变化？

研究思路



研究意义

为中蒙俄经济走廊东段生态环境脆弱区划定及保护提供相关依据。

背景

- 中蒙俄经济走廊东段位于欧亚大陆多年冻土区东南缘，区域内广泛分布多年冻土和季节冻土，属于全球气候变化的脆弱区和敏感区。“一带一路”倡议下人类经济活动将进一步促进冻土退化。
- 同时，研究区位于欧亚大陆森林线与永久冻土南界接近区，植被生长对于冻土退化十分敏感。
- BEPS (Boreal Ecosystem Productivity Simulator) 模型广泛用于模拟植被光合作用和土壤生物地球化学过程，但对于土壤水热耦合过程模拟效果不佳。

研究区域

- “一带一路”六大经济走廊之一，中国、蒙古、俄罗斯三国交界；
- 森林、草地、裸地和农田四类土地覆盖类型面积占比分别为35.0%、28.6%、18.7%和16.3%；
- 多年冻土与季节冻土面积占比分别为53.3%、45.5%。

BEPS模型优化

- ① 植被冠层对地表的保温效应
- ② 不同冠层结构对积雪密度的影响

$$\rho_{snow} = \begin{cases} 500(1 - 0.951e^{-1.4(5-T_a)^{-1.15} - 0.008u^{1.7}}), & -13^{\circ}\text{C} < T_a < 2.5^{\circ}\text{C} \\ 500(1 - 0.904e^{-0.008u^{1.7}}), & T_a \leq 13^{\circ}\text{C} \end{cases}$$

$$\rho_{snow} = 50 + 1.7(T_{canopy} + 15)^{1.5}$$

- ③ 地表积水影响地表热量传输
- ④ 土壤表层有机质阻滞热量传递

$$c_{s,l} = c_{s,l}(1 - \theta_{sat,l}) + (c_w(1 - f_{ice}) + c_{icef_{ice}})\theta_{l,w}$$

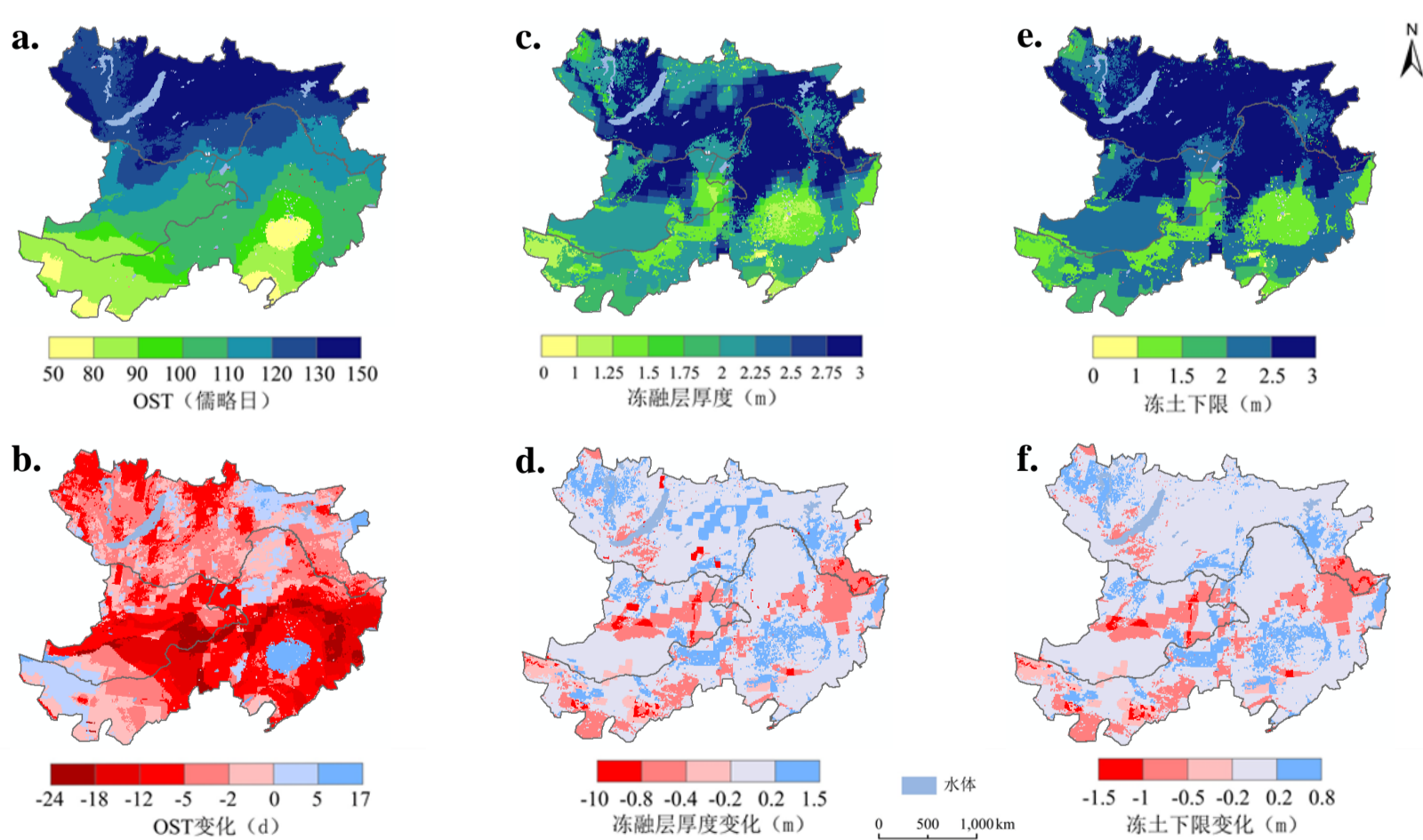
$$c_{s,l} = c_{s,min,l}(1 - f_{sc,l}) + c_{s,sc}f_{sc,l}$$

- ⑤ 土壤中冬季存在不冻结水

$$\theta_{liq,max} = \theta_{sat} \left\{ \frac{10^3 L_f (T - T_{frz})}{gT\psi_{sat}} \right\}^{-\frac{1}{b}}$$

冻土指标的时空变化

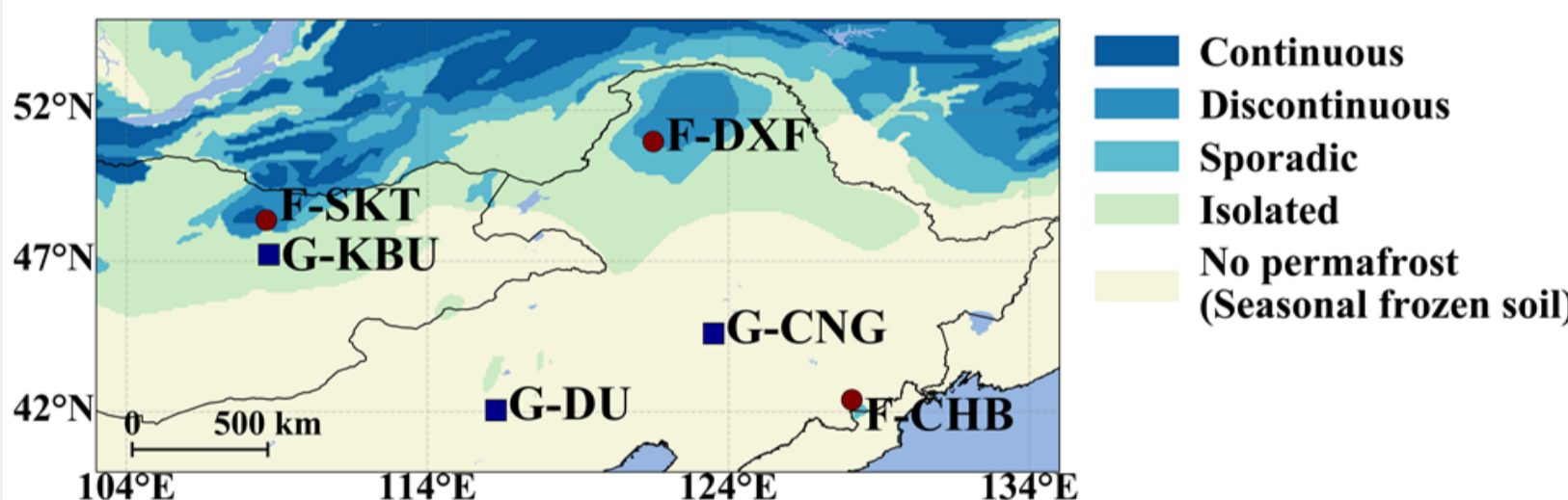
- 中蒙俄经济走廊东段2000-2015年平均冻土解冻始日、冻融层厚度及冻土下限空间分布格局 (a、c、e) 及16年变化量 (b、d、f)



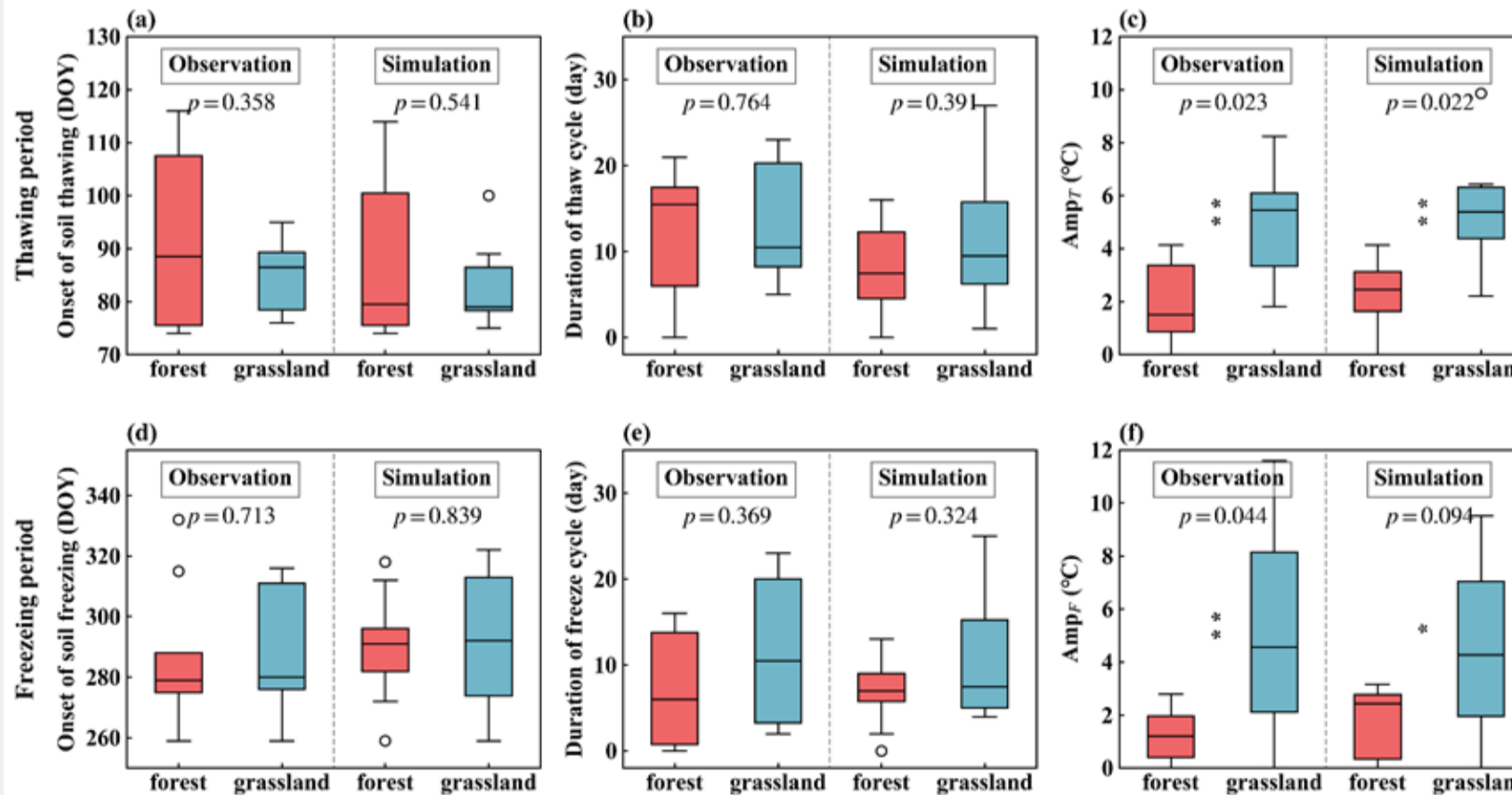
- 研究区内各土壤层的年均日冻土面积减小发生时间段主要分布在各土壤层的解冻期和冻结期，且底层冻土面积减小速度大于表层。
- 冻土下限的变化主要表现为多年冻土南缘邻近区域的底层季节冻土退化为非冻土。
- 冻土解冻始日及冻融层厚度发生变化地区主要分布在多年冻土南缘与连续多年冻土南缘，该区域分别易发生岛状多年冻土退化为季节冻土、连续多年冻土退化为不连续多年冻土。

利用站点数据验证模型精度

多年冻土类型空间分布与站点位置



优化后的BEPS模型对于土壤冻融过程指标的表现能力



- 优化后的BEPS模型模拟的土壤温度相比优化前具有更小的RMSE和更大的R方；
- 优化后的BEPS模型可用于计算关键指标以表现土壤冻融过程。

结论

- 优化后的BEPS模型能很好地表现中蒙俄经济走廊东段土壤冻融过程。
- 研究区内冻土退化的主要表现为：连续多年冻土退化为不连续多年冻土（量变），多年冻土退化为季节冻土（质变）。
- 多年冻土南界的冻土退化使森林线北移，影响了全年各阶段的LAI。但其他区域冻土的退化主要通过提前植被返青期影响了植被物候期的开始时间。