



HAL
open science

Pour un hommage au Professeur Sergueï Gorchkov et une introduction à la géoécologie russe

Laurent Touchart, Olga Motchalova, Pascal Bartout

► To cite this version:

Laurent Touchart, Olga Motchalova, Pascal Bartout. Pour un hommage au Professeur Sergueï Gorchkov et une introduction à la géoécologie russe. *Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement*, 2020, 46, pp.148-183. hal-03698544

HAL Id: hal-03698544

<https://hal.science/hal-03698544>

Submitted on 18 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Touchart L., Motchalova O & Bartout P. 2020, « Pour un hommage au Professeur Sergueï Gorchkov et une introduction à la géoécologie russe » *Dynamiques Environnementales - Journal international des géosciences et de l'environnement*, 46 : 148-183.
<https://journals.openedition.org/dynenviron/3236>

Pour HAL : mise en page différente de celle de l'éditeur.

Pour un hommage au professeur Sergueï Gorshkov et une introduction à la géoécologie russe

Laurent TOUCHART¹, Olga MOTCHALOVA² et Pascal BARTOUT¹
¹ Laboratoire Cedete, Université d'Orléans, ² Bureau d'Etudes Phosphoris

An introduction to Russian geocology through a tribute to Professor Sergei Gorshkov

Abstract :

This paper is a testimony to the life path of Professor Sergei Gorshkov (1932-2018), one of the pioneers of Russian geocology, trying to finalize a scientific idea which he left unfinished.

The two first biographical parts reveal unpublished anecdotes about the life of Sergei Gorshkov, which he himself told the authors, and emphasize the field missions in Siberia, which were a departure points for his consideration on the geographical environment entirety. As pedology for Dokuchaev, permafrost science became for Sergei Gorshkov key issue of all environmental components. To understand the evolution of Siberian cryolithozone, this geomorphologist studied climate, vegetation, and waters. His works with geologists led him to relevance of long-time scale analyze, and he became passionate about paleo-environments.

The third scientific part explains the consequences of the tendency of replacement of the oceanic by the continental crust. Therefore, inorganic and biogenic spheres evolve in the opposite direction. The first one casts away the excess crystallochemical energy containing in the inert matter of the Earth mantle. The second one, while becoming more complex, increases its energy potential linked to the mineral associations of the metamorphic basement and to its sedimentary cover rich in solar energy accumulated by biogenic factors. If we consider that geocology must be based on the understanding of the homeostasis of the biosphere, we should study a kind of resilience of the highest level of organization on global world scale, taking into account the difference that the resilience leads to a return to initial equilibrium, while homeostasis leads to a new equilibrium. The homeostatic function of productive biofiltration of the ocean dominates all others in its overall scale. Due to this biofiltration, solar radiation penetrates the ocean. This heat storage is transferred by advection to the air masses which discharge their wetness on the continents and increase biomass of terrestrial ecosystems. Large rivers receive and transport more organic matter to the seas and the cycle goes on. The combination of the density of the vegetative cover on the continents, the primary production of phytoplankton and the filtration of oceanic zooplankton is the heart of the homeostatic function of the biosphere. Geographically, this contact area represents the major interface. According to continental geomorphology this is the marine environment under the influence of river mouths; oceanography considers it as marginal filter (as determined by the Russian oceanologist Lisitsyn). Gorshkov mentioned that "integrated signal" from both terrestrial and oceanic ecosystems is in these epicontinental seas. The authors compared also the importance of nutrient inputs by upwellings and by large river basins with thick vegetation cover.

Kew words: Sergei Gorshkov's biography, epistemology of Russian geography, Vernadsky, biosphere, geocology, biofiltration, homeostasis, epicontinental sea.

Résumé :

Cet article est à la fois un témoignage concernant le parcours de vie du professeur Sergei Gorchkov (1932-2018), l'un des pionniers de la géoécologie russe, et l'essai de finalisation d'un article scientifique qu'il avait laissé inachevé.

Les deux premières parties, biographiques, révèlent des anecdotes inédites sur la vie de Sergueï Gorchkov, qu'il a lui-même racontées aux auteurs, et elles mettent l'accent sur ses missions de terrain en Sibérie, qui furent le point de départ de ses réflexions sur l'unicité et la globalité de l'environnement géographique. A l'instar de la pédologie pour Dokoutchaev, la science du pergélisol est devenue pour Sergueï Gorchkov le creuset de toutes les composantes environnementales. Pour comprendre l'évolution de la cryolithozone sibérienne, ce géomorphologue intégra les recherches en climatologie, en biogéographie et en hydrologie. Sa collaboration scientifique avec ses collègues géologues le conduisit à étudier les échelles de temps les plus longues et à se passionner pour les paléo-environnements.

La troisième partie, directement scientifique, s'attache aux conséquences de la tendance au remplacement de la croûte océanique par la croûte continentale. Ainsi, les sphères inorganiques et biogéniques évoluent en sens opposé. La première se débarrasse de l'excès d'énergie cristallochimique contenue dans la matière inerte du manteau terrestre. La seconde, tout en se complexifiant, augmente son potentiel énergétique lié aux associations minérales du socle métamorphique et à sa couverture sédimentaire riche en énergie solaire accumulée par les facteurs biogéniques. Si l'on considère que la géoécologie doit reposer sur une meilleure compréhension de l'homéostasie de la biosphère, il convient d'étudier ce qui peut-être considéré comme une sorte de résilience du plus haut niveau d'organisation, d'échelle mondiale, à ceci près que la résilience au sens strict conduit à un retour à l'équilibre initial, tandis que l'homéostasie mène à un nouvel équilibre. Par son échelle globale, la fonction homéostatique de biofiltration productive de l'océan domine toutes les autres. Grâce à elle, le rayonnement solaire pénètre dans l'océan. Cette réserve de chaleur est transférée par advection aux masses d'air, qui se déchargent de leur humidité au-dessus des continents et augmentent ainsi la biomasse des écosystèmes terrestres. Les grands fleuves reçoivent et transportent plus de matière organique vers les mers et le cycle continue. La combinaison de la densité du couvert végétal sur les continents, de la production primaire de phytoplancton et de la filtration du zooplancton océanique est au cœur de la fonction homéostatique de la biosphère. Géographiquement, c'est cette zone de contact qui représente l'interface planétaire majeure. Du point de vue de la géomorphologie continentale, il s'agit du milieu marin sous l'influence des embouchures fluviales ; du point de vue de l'océanographie, c'est le filtre marginal (tel que déterminé par l'océanologue russe Lisitsyn). S. Gorchkov écrivait que le « signal intégré » des écosystèmes terrestres et océaniques se trouvait dans ces mers épicontinentales. Cet article y ajoute une comparaison de l'importance des apports en éléments nutritifs par les upwellings et par les grands bassins fluviaux à dense couverture végétale.

Mots clefs : biographie de Sergueï Gorchkov, épistémologie de la géographie russe, Vernadski, biosphère, géoécologie, biofiltration, homéostasie, mer épicontinentale.

Introduction

Sergueï Pavlovitch Gorchkov¹ nous a quittés le 5 décembre 2018 à l'âge de 86 ans. Il était né le 1^{er} août 1932 à Moscou. Professeur de géoécologie, équivalente de la géographie de l'environnement française, à l'université de Moscou, il lègue à la communauté des géographes environ 200 publications et de solides amitiés. Peu avant sa disparition, il avait lancé un projet d'article qui devait être écrit en commun avec les trois auteurs du présent papier. Les échanges, écrits et oraux, les discussions, étaient en cours. Que faire maintenant que nous ne pouvons plus lui poser nos questions ? Témoigner sans doute. Et tenter de mettre en perspective sa vie et son œuvre, pour risquer une interprétation de son article inachevé. Quelques interrogations plus générales pourraient même en surgir. Comment un géomorphologue de formation passe-t-il à la pratique de la géographie de l'environnement et cet enrichissement peut-il mener jusqu'à l'action des sociétés dans le cadre du développement durable ? Était-ce parce qu'il n'était pas biogéographe de formation qu'il mettait si en avant la biosphère ? La littérature scientifique internationale d'avant 1991 ignorait-elle trop les travaux russes, et, réciproquement, la recherche soviétique ne privilégiait-elle pas trop les résultats qu'elle obtenait en interne ? Pour esquisser quelques pistes de réponse, il a été décidé de concevoir ce papier comme une sorte de dialogue, fragmentaire, avec Sergueï Gorchkov, comme la métaphore d'une recherche scientifique qui progresse tout au long d'une vie, mais aussi doute et bifurque, puis se transmet aux collègues et doctorants des générations suivantes, lesquels, consciemment et inconsciemment, en interprètent une partie, en abandonnent une autre, en enrichissent une autre enfin.

1. La carrière professionnelle de Sergueï Gorchkov

Pour les quatre-vingts ans de Sergueï Gorchkov, le *Messageur de l'université de Moscou* lui avait consacré, dans sa série « géographie », une page de jubilé (Редколлегия журнала, 2012), dont certains éléments seront repris ici, augmentés d'informations inédites.

Entré à la faculté de géographie de l'université d'Etat Lomonossov de Moscou en 1950, il obtint son diplôme de spécialité de géomorphologue après cinq années d'étude. Il s'engagea alors dans la préparation de son doctorat de 3^{ème} cycle, de « candidat » comme disent les Russes, en participant à l'expédition de la Faculté de géologie en Sibérie centrale, le long de l'Iénisseï, dans la région proche du confluent avec l'Angara. A partir de ce premier été 1956, il prit l'habitude de revenir en mission le plus souvent possible dans le bassin de l'Iénisseï. C'était depuis la ville de Krasnoïarsk qu'il rayonnait dans les monts Saïan, le bassin de Minoussinsk, le kriaï de l'Iénisseï, la plaine de Sibérie Occidentale, le plateau de Sibérie Centrale, les régions des confluent de l'Iénisseï avec la Toungouska Pierreuse et la Toungouska Inférieure. Ce furent ses terrains de prédilection, pendant toute sa carrière. Entre-temps, il avait soutenu en 1962 sa thèse de 3^{ème} cycle, intitulée *Les dépôts quaternaires et le développement des formes de relief de la Sibérie iénisseïenne (tronçon compris entre Krasnoïarsk et Oust-Pit)*.

Lors de ces deux décennies, financé par des contrats de recherche avec la Direction de la géologie sise à Krasnoïarsk, il travailla tantôt à une géomorphologie structurale fondamentale, tantôt à une science appliquée. Ainsi, il toucha autant à la définition des critères d'identification des grandes unités morphostructurales sibériennes qu'à la localisation des gisements d'or alluvionnaires. A la fin des années 1960, par l'utilisation des photographies aériennes et la lecture de la bibliographie américaine et allemande, il élargit la surface de ses publications et, de l'échelle régionale, passa à l'échelle mondiale. Parmi les articles de cette époque, Sergueï Gorchkov aimait à mettre en avant celui concernant « les périodes glaciaires et le relief de la Terre » (Горшков, 1968).

Il revint administrativement à la géographie, qu'il avait quittée pour la géologie en 1956, en obtenant en 1975 un poste d'enseignant-chercheur en géographie physique générale à l'université d'Etat Lomonossov de Moscou. Il s'appliqua pendant une décennie à lier la géomorphologie et les activités humaines et soutint en 1983 une thèse de doctorat d'Etat intitulée *Exodynamique des territoires mis en valeur par l'Homme*. Il passa tout le reste de sa carrière à travailler sur les liens entre lithosphère, biosphère, atmosphère, hydrosphère et cryosphère, pour construire une géographie de l'environnement à l'échelle mondiale. Il devint ainsi l'un des premiers spécialistes de la branche de la géographie que les Russes appellent la géoécologie. A partir de 1994, il atteint au titre de professeur

¹ Dont l'équivalent français serait Serge, fils de Paul, Potier.

des universités de la spécialité 25.00.36, c'est-à-dire, selon le code de la Commission des attestations de l'enseignement supérieur², en géoécologie.

Parmi ses quelques 200 publications, il mettait lui-même en avant les quatre ouvrages dont il était le plus fier : *Les fondements éco-géographiques de la protection de la nature* (Горшков, 1992), *Les fondements conceptuels de la géoécologie* (Горшков, 1998), primé par le Conseil scientifique de la Faculté de géographie et dont le succès conduisit à une seconde édition, augmentée, quelques années plus tard, *L'exodynamique de l'environnement* (Горшков, 2005) et *L'introduction à l'étude de la biosphère* (Горшков, 2007). Enfin, ayant toute sa vie beaucoup travaillé sur les paléoclimats, montrant à qui le demandait toutes ses photos sur les horizons de sol intercalés dans la *merzlota* témoignant de climats passés plus chauds que l'actuel, il ne supportait pas l'alarmisme médiatique quant au changement global, et ses dernières publications furent largement consacrées à cette question (Горшков, 2010, Горшков, Сысуев, 2012).

A côté de sa carrière de chercheur, Sergueï Gorchkov passait l'essentiel de son temps à s'occuper de ses étudiants. L'une de ses activités pédagogiques préférée était d'emmener les étudiants de la Faculté de géographie en sortie de terrain de longue durée, dans le cadre de ce que les Russes appellent « la pratique ». Les étudiants de deuxième année se souviendraient toujours des terrains effectués au nord de Krasnoïarsk, dans la région de Norilsk ou encore en Carélie et dans les monts Khibiny.

Au carrefour de la recherche et de l'enseignement, le suivi de thésards fut une passion qu'il se découvrit tard, mais mena ensuite avec engouement, jusqu'à la fin de sa vie. Olga Motchalova fut la première doctorante qu'il dirigea, lui faisant soutenir sa thèse en 2005 sur *Les processus naturels et anthropiques et les paysages actuels de la zone du lac de barrage de Bratsk* (Мочалова, 2005). Puis vint Alekseï Medvedkov, défendant en 2013 un travail sur *Les géosystèmes de la taïga moyenne³ de Sibérie iénisseïenne dans les conditions d'un climat en changement⁴* (Медведков, 2013). Zakhar Bortnovski, qui termine aujourd'hui sa thèse grâce au relais de direction pris par Alekseï Medvedkov, avait été lancé par Sergueï Gorchkov à la fin de sa vie.

Les liens les plus durables que Sergueï Gorchkov entretenait avec l'étranger furent ceux tissés avec l'institut de géographie de l'université de Heidelberg, en particulier avec son collègue Heinz Karrasch. C'était la période du « sauve-qui-peut généralisé⁵ », qui a vu une bonne part de ses collègues partir soit en Grande-Bretagne soit en Allemagne. Mais, d'un mal pour un bien, en 1994 et 1995, il fut professeur invité pendant quatre mois dans le prestigieux institut fondé par Alfred Hettner. En retour, il reçut de nombreuses fois les étudiants allemands et leur professeur entre 1994 et 2001, leur préparant des missions de terrain dans la péninsule de Kola, en Extrême-Orient Russe, et, bien entendu, sur son terrain iénisseïen de la Sibérie centrale. A partir de 2007, par l'intermédiaire de sa jeune docteure Olga Motchalova qui faisait son post-doc à l'université de Lyon 2 sous la direction de M. le professeur Jean-Paul Bravard, Sergueï Gorchkov prit contact avec les géographes français.

2. Sergueï Gorchkov, un scientifique vivant

En mai 2012, lors de l'organisation du colloque franco-russe à l'antenne de l'université d'Orléans à Châteauroux, les trois auteurs de ce papier furent réunis pour accueillir en France Sergueï Gorchkov. Pendant l'ensemble du séjour, il fut toujours content de tout. Il s'émerveillait comme un enfant à chaque occasion. Il se faisait fort de poser une question constructive à chaque communicant, surtout si l'intervention n'avait pas retenu l'attention de grand monde. Quant à sa propre communication, elle dura le triple du temps imparti et l'expérience du modérateur de séance n'y put rien. Il faut dire que, comme à son habitude, il mania les changements d'échelles spatiales et

² Высшая аттестационная комиссия (ВАК).

³ La « taïga moyenne » est la sous-zone latitudinale centrale de la forêt boréale russe, comprise entre 60 et 64° (Touchart, 2010, p. 217).

⁴ C'est intentionnellement que nous traduisons « меняющийся климат » par « climat en changement » et non pas par « changement climatique » (qui se dit « изменение климата »), cette dernière notion dans son sens occidental étant au contraire réfutée par Sergueï Gorchkov.

⁵ En septembre 2010, en marge de la fête de rentrée de l'université Lomonossov, à l'issue d'une cérémonie grandiose et solennelle dans un cadre monumental, Sergueï Gorchkov confia au premier auteur tout le mal qu'il pensait de la période Eltsine, en s'appuyant sur de nombreux détails.

temporelles avec un tel brio qu'une interruption de sa parole eût été comme une perturbation de la géosphère tout entière. Avec le recul, les deux auteurs français du présent papier pensent d'ailleurs que ce fut ce moment qui leur donna la hardiesse, qu'ils avaient toujours fuie jusqu'alors, de se lancer ensuite dans des recherches conceptuelles à l'échelle mondiale, aboutissant à la définition du limnosystème, du territoire limnique et de la limmosphère.

Le colloque se termina par une sortie de terrain aux confins du Berry, du Limousin et du Poitou. La visite du musée de minéralogie de Chaillac, commentée par M. le maire et vice-président du conseil général de l'Indre, l'avait déjà égayé, quand, à la sortie du bourg, au croisement entre le parking de la plage des étangs et la grand' route, il lut machinalement, sans doute pour se divertir du cyrillique, le panneau indicateur. La direction était celle de Montmorillon. Alors, timidement, n'osant espérer que cela pût être vrai, il s'adressa à nous, demandant si cela était susceptible d'avoir quelque rapport, fût-ce lointain, avec la montmorillonite. « En effet le nom de l'argile bien connue des géomorphologues du monde entier vient de cette petite ville toute proche » lui répondîmes-nous en cœur. Il en fut pétrifié. Lui qui avait quitté les lambris et les dorures de l'université moscovite et l'immensité des missions de terrain sibériennes pour honorer de sa présence la petite manifestation d'une antenne universitaire berrichonne dans le seul but de nous faire plaisir se trouvait face à une révélation. Désormais, nous fûmes associés dans son esprit à la montmorillonite comme si nous en eussions été les co-découvreurs.

Toutes les autres rencontres, avant comme après ce mémorable moment, eurent lieu en Russie, en général à l'université Lomonossov, plus rarement chez lui, au 11 de la rue F.I. Panfiorov. Dans tous les cas, les échanges étaient à la fois scientifiques et amicaux, et la nourriture n'était pas qu'intellectuelle, car ce passionné du jeu d'échecs était un authentique gourmand. Pendant six ans, les rédactions d'articles communs aux universités d'Orléans et Moscou furent régulières, et en avril 2016 encore, il proposa aux auteurs du présent papier de retravailler, en le francisant par des comparaisons et des références scientifiques, l'article qu'il considérait comme une synthèse de sa fin de carrière et qu'il venait de publier en russe (Горшков, 2015) et en anglais (Gorshkov and Mochalova, 2016).

A partir de ce triste jour de 2017, pendant lequel l'infatigable explorateur fut rattrapé par son âge, les échanges alternèrent entre un fond strictement scientifique tournant autour de l'article en chantier, qui le passionna jusqu'à la dernière seconde, et des témoignages plus personnels. Avant de tenter l'impossible, de donner une fin éditoriale à une pensée dont la dynamique était en cours, il convient de fournir un contexte animé, d'intégrer dans ce préambule des souvenirs de vie, dont certains avaient enrichi le recul épistémologique de Sergueï Gorchkov⁶.

« La chance de sa vie », selon ses propres du mot du 24 avril 2018, ce fut l'occasion qu'il eut au milieu des années 1950, de faire sa première longue mission de terrain en Sibérie. A cette époque, l'homme fort de l'université de Moscou était Evguéni Sergueïev, chef du parti communiste, bardé de médailles militaires, revenu de la bataille de Stalingrad avec un pied arraché en 1943, qui avait soutenu sa thèse de géologie en 1944 sur l'humectation des sols. Il se trouve que, alors que Sergueï Gorchkov était étudiant en cinquième année de géographie, Evguéni Sergueïev exerçait la fonction de doyen de la faculté de géologie. Les géologues de l'époque « haïssaient la géographie, dont ils disaient qu'elle n'était pas une science, et, habituellement, les géographes qui la faisaient ». Mais E. Sergueïev, au-delà de sa propre largeur d'esprit, avait retiré de ses exploits de guerre la conviction qu'un bon géologue devait être grand, fort et sportif. Parmi les postulants à la mission en Sibérie, Sergueï Gorchkov fut, disait-il, sauvé de l'inconvénient d'être géographe par sa carrure et sa pratique de l'activité physique.

Il engagea sa thèse de troisième cycle sous la direction du chef du département de géologie dynamique, qui se trouvait posséder le même nom de famille que lui, sans qu'il n'y eût pourtant le moindre lien de parenté entre eux. Or le Guéorgui Gorchkov en question était le cousin de l'amiral Gorchkov... prénommé Sergueï. Quand le professeur de géologie spécialiste de sismotectonique annonça que, la semaine suivante, il viendrait au comité de thèse accompagné de Sergueï Gorchkov, les membres intimidés crurent qu'ils auraient l'honneur de recevoir la visite du Commandant en chef de la Marine Soviétique, l'un des personnages les plus puissants de l'URSS. Et il présenta son jeune

⁶ L'essentiel des anecdotes et réflexions rapportées ci-après provient des invitations faites à son domicile par Sergueï Gorchkov les 24 avril et 14 août 2018. Le 24 avril, un enregistrement sonore de 50 minutes a été effectué par le premier auteur. Le 14 août, autour d'un repas émouvant et chaleureux préparé aux deux premiers auteurs par son infirmière, chacun comprit, tout en donnant le change, que Sergueï Gorchkov rejoindrait bientôt Vernadski.

doctorant. Ce fut ainsi que le géographe Sergueï Gorchkov fit une entrée remarquée dans le monde facétieux des géologues.

Les missions de terrain qui se succédèrent par la suite en Sibérie pendant toute sa carrière éveillèrent en lui la prise en compte de l'intégralité du milieu géographique. A l'instar du sol pédologique chez Dokoutchaïev, la *merzlot*a devint chez Sergueï Gorchkov le creuset de toutes les composantes environnementales. Pour comprendre l'évolution du pergélisol sibérien, il étudia le climat, la végétation, les eaux. Son passage par la géologie lui inculqua aussi la prise en compte du temps long et il se passionna pour les paléo-environnements. Il était parti chez les géologues comme géographe géomorphologue, il en revint en tant que géographe environnementaliste, c'est-à-dire géo-écologue dans le vocabulaire russe.

En tant que vieux renard, fût-il argenté, Sergueï Gorchkov avait vécu en Sibérie quelques aventures épiques. Bien sûr les anecdotes sur la férocité des moustiques se contentaient de faire le lien entre les événements plus marquants. Lors d'une mission, il fallut évacuer d'urgence par hélicoptère un de ses collègues qui avait attrapé l'encéphalite que donnent les tiques de la taïga sibérienne. Une seule fois, cependant, il crut vraiment sa dernière heure arrivée. Le groupe, qui bivouaquait près du confluent entre la Toungoumska Pierreuse et l'Iénisseï, s'était scindé en deux. La moitié dont faisait partie Sergueï Gorchkov était partie pêcher, quelque peu étourdi, sans prendre d'arme. En se trompant de sentier, ayant fait un long détour sans s'être vraiment perdus pour autant, les imprudents se trouvèrent nez à nez avec un ours. Tétanisés, ils retinrent leur souffle, ne firent plus un geste. Et après quelque hésitation curieuse, l'ours s'en alla. Il avait sans doute flairé le Moscovite sous l'habit sibérien.

Les authentiques Sibériens, installés depuis le XVII^{ème} siècle dans la basse et moyenne vallée de l'Iénisseï, Sergueï Gorchkov les pratiquait souvent, pourtant. Il est vrai que ces vieux-croyants, dont les ancêtres avaient fui le schisme, vivaient toujours de l'élevage pratiqué sur les prairies de fauche du lit majeur, si bien que, en échange de sucre, on pouvait toujours recevoir de leur part le lait frais qui eût autrement manqué aux membres des expéditions scientifiques. Sergueï Gorchkov aimait à écouter leurs témoignages, en les aiguillant sur leur connaissance fine, vécue au jour le jour, de l'évolution du mollisol ou des effondrements thermokarstiques. Certaines de ces dynamiques morphologiques étaient manifestement accentuées, voire provoquées, par le défrichement des bosquets de saules et d'aunes effectué pour l'agrandissement des prairies alluviales. Peu à peu, cela lui donna envie d'intégrer l'Homme dans sa réflexion environnementale. L'anthropisation du géosystème allait devenir le fil directeur de ses recherches. Il était temps pour lui de redevenir géographe.

3. L'appréhension du système Terre par l'entrée biosphère-lithosphère : l'apport de la recherche russe en géoécologie

Sergueï Gorchkov voulait donner à son article le titre de « capacité d'organisation de la biosphère et développement durable », ou plutôt nous demandait un intitulé français qui aurait traduit *организованность биосферы и устойчивое развитие*. Cependant, la richesse des contenus implicites présents dans les deux premiers termes russes risquait d'échapper à un lecteur français ne connaissant pas parfaitement les écrits de l'école de géographie systémique soviétique, bien qu'un certain nombre de géographes français, citant d'ailleurs les géographes russes, aient exprimé quelques similitudes de vocabulaire et de pensée⁷ (Tricart, 1972, Rougerie, 1988, 1993, Vanney, 2002).

Организованность (*organizovannost'*) ne possède aucun équivalent dans notre langue. Comme il n'est souhaitable, ni de créer le néologisme « d'organisativité », ni de reprendre le terme de « capacité organisationnelle » réservé au monde de l'entreprise en quête d'efficacité, il est nécessaire de revenir sur les significations sous-entendues de ce mot dans la géographie russe. Dans l'école de

⁷ « La tendance [...] de la biosphère [...] aboutit à une complexité croissante et à une organisation croissante » (Tricart, 1972, p. 45). « Ces débuts de l'histoire de la biosphère témoignent de [...] quelque gigantesque autocatalyse associant l'inerte et le vivant, ce dernier existant dans certaines limites permises par le premier, mais le modifiant par le fait même de son existence ; ces modifications permettant, à leur tour, l'émergence de nouvelles potentialités et de nouvelles formes de vie, et ainsi de suite. A chaque nouvelle réorganisation des rapports, une nouvelle limite cède devant 'la pression de la vie', selon le mot de Vernadsky » (Rougerie, 1993, p. 14). Et J.-R. Vanney (2002, p. 77) d'évoquer « l'organisation du biosystème océanique ».

pensée géosystémique soviétique des années 1960 aux années 1980, le « niveau d'organisation » forme l'un des quatre critères (Любушкина *и comp.*, 2004) distinguant les sphères entre elles (Исаченко, 1965). Cette conception est elle-même issue des travaux de Vernadski. Sergueï Gorchkov aimait à rappeler que le terme d'*organizovannost'* avait été introduit en écologie par Vernadski pour définir la « régulation biotique » de la sphère mondiale et c'était dans ce même passage que celui-ci avait qualifié de « bioinertes » les processus associés à cette régulation biotique (Вернадский, 1926). Tout en rendant hommage à ce vocabulaire créé par Vernadski et en en revendiquant la filiation, se référant aussi au géographe F. Chipounov (Шипунов, 1980), Sergueï Gorchkov préférait utiliser deux termes qu'il pensait très proches, sinon synonymes, de l'*organizovannost'*, d'une part « l'homéostasie », reprise à la littérature anglo-saxonne, du moins pour son adaptation à la sphère environnementale (Lovelock and Margulis, 1974), d'autre part « l'élasticité », un terme proprement russe (*упругость, оупругост'*) qu'il développait dans ses écrits (Горшков, 1998, 2006).

Cette capacité d'organisation, cette homéostasie, cette élasticité, c'est celle de la biosphère. Dans ses titres d'ouvrages ou d'articles, Sergueï Gorchkov avait pris l'habitude depuis plusieurs décennies de ne plus faire figurer que la biosphère, lui le géomorphologue, le spécialiste de la lithosphère. C'est que, à l'instar de nombre de ses collègues, devenus comme lui géoécologues, il employait le terme de biosphère dans le sens de Vernadski (Вернадский, 1926, 1934-1940), auquel il ne cessait jamais de se référer, c'est-à-dire selon une acception systémique englobant les liens avec les autres sphères. Pour Vernadski, la biosphère représente beaucoup plus que la biomasse mondiale. Elle regroupe les organismes vivants et leurs milieux de vie, ceux-ci étant en partie fabriqués par la matière vivante. La biosphère forme ainsi l'ensemble des liens, présents et passés, de la matière vivante avec la matière inerte, celle-là ayant pu contribuer à la construction de celle-ci. Dans l'esprit de Vernadski, la biosphère se définit comme l'enveloppe mondiale organisée par les êtres vivants et les substances qui leur sont ou leur ont été liées, où s'interpénètrent tous les composants. Pour synthétiser cela, la biosphère est ici entendue comme la partie du système Terre où les conditions assurant la vie sont entretenues par l'influence biochimique et biophysique du biote mondial sur la matière inerte.

3.1. Une croissance de la croûte continentale biogénique

A la suite de V. Vernadski, qui avait montré que les roches biogènes concernaient bien plus que les seules roches sédimentaires et avait écrit, de façon percutante, quoique simplificatrice, que « l'enveloppe granitique de la Terre est le domaine des anciennes biosphères » (Вернадский, 1934-1940), un certain nombre de biogéochimistes russes comme A. Sidorenko ou A. Marakouchev (Сидоренко *и comp.*, 1971, Маракушев, 1973), influencés également par les travaux du Norvégien Th. F. Barth, ont quantifié la part biogénique des roches métamorphiques, s'intéressant tout particulièrement à celles riches en potassium. Sergueï Gorchkov lui-même, en s'appuyant sur le « super-forage » de Kola, expliquait que les paragneiss archéens provenaient certainement du métamorphisme d'anciennes argiles produites par l'activité des tapis de procaryotes. Chez les géologues russes actuels, les travaux de V. Zakroutkine vont aussi en ce sens (Закруткин, 2013). Au total, les bombements armés de croûte continentale ont une composition largement biogénique, cependant que les dépressions armées de croûte océanique ont une origine mantellique inerte.

Or les chercheurs russes ont été les premiers à montrer que, à l'échelle mondiale, la place prise par la croûte continentale était de plus en plus grande au fur et à mesure de l'avancée des temps géologiques, aux dépens de la croûte océanique qui régressait dans les mêmes proportions. En se fondant sur des données paléogéographiques, le paléontologue Vladimir Amalitski fut le premier à émettre cette hypothèse pour les 550 derniers millions d'années (Амалицкий, 1896). L'idée de ce précurseur fut rénovée et précisée plusieurs décennies après par la mise au point de la théorie de la tectonique des plaques et l'affinement des connaissances concernant les processus à l'œuvre aux frontières convergentes des plaques, que ce soient celles de subduction ou de collision. De ce point de vue, l'ouvrage de K. Simakov, *Pour la création d'une théorie des temps paléobiosphériques* (Симаков, 2004), et celui de V. Khaïn et N. Koronovski, *La planète Terre du noyau à l'ionsphère* (Хаин, Короновский, 2007), ont fait date.

Avant cela, le foisonnement des recherches russes à ce sujet avait conduit Sergueï Gorchkov à proposer une première synthèse dès les années 1970, notamment dans son article intitulé « la tectonosphère, les processus exogènes et la matière vivante », où il expliquait les conséquences de la

tendance au remplacement de la croûte océanique par la croûte continentale (Горшков, 1975). Corolairement à ce fait, les natures inorganiques et vivantes évoluent en sens contraire. La première se débarrasse de l'excès d'énergie cristalochimique propre à la matière inerte du manteau. La seconde, tout en se complexifiant, augmente son potentiel énergétique lié aux associations minérales du socle métamorphique et surtout de sa couverture sédimentaire riche en énergie solaire accumulée par des facteurs biogéniques. Le processus est particulièrement remarquable dans les argiles, les combustibles, le guano.

L'un des débats que le premier auteur du présent article menait avec Sergueï Gorchkov, et qui était encore en cours quelques semaines avant la disparition de ce dernier, portait sur la vitesse récente et actuelle de ces processus inverses. Sergueï Gorchkov insistait sur la vitesse croissante de la production de matière vivante et ses conséquences, non seulement sur la composition qualitative de la croûte continentale, mais aussi sur sa quantité. Mais cela n'est-il pas infime et, sinon, comment l'intégrer au fait établi que « les deux tiers, voire les trois quarts du volume de la croûte continentale étaient formés à la fin de l'Archéen (2,5 Ga). La croissance crustale a décliné au Protérozoïque et Phanérozoïque pour être proche de zéro actuellement » (Nicollet, 2014, p. 6) ? D'autre part, pourquoi les géologues occidentaux soulignent-ils que les deux processus qui se sont succédé pour former la croûte continentale ont été d'abord, à l'Archéen, la fusion de la croûte océanique en subduction, puis, depuis le Protérozoïque, sa déshydratation (Gargaud *et al.*, 2009) ? De fait, en résumé, c'est justement depuis que la vie a explosé sur la planète que la fabrication de croûte continentale est devenue très faible et même presque nulle. Les réponses de Sergueï Gorchkov tournaient autour de l'évolution de la composition chimique de la croûte continentale, mais les auteurs du présent papier n'avaient malheureusement eu ni le temps, ni les compétences biogéochimiques, de le pousser dans ses retranchements concernant le potassium, le sodium et la silice⁸.

L'autre de nos débats en cours était celui du positionnement par rapport à certaines discussions scientifiques anglo-saxonnes sur les éventuels changements environnementaux mondiaux provoqués par les orogénèses (Ruddiman, 1997), ou plutôt par les grands soulèvements, ceux-ci pouvant être décalés par rapports aux phases de plissement (Ollier⁹ and Pain, 2019). Sa réponse était que, face aux modifications du climat et de la composition de l'atmosphère, lui mettait la biosphère plus en avant, et que, face à l'influence des volumes rocheux, des bombements altitudinaux en eux-mêmes, lui soulignait la production de croûte continentale et le rôle des mers épicontinentales.

Il est vrai que certaines pensées de Vernadski, selon qu'on les considère comme géniales ou équivoques, peuvent donner lieu à des interprétations changeantes. Il est parfois difficile de dépasser certaines ambiguïtés de cet auteur foisonnant, comme R. Loiret a pu le faire remarquer concernant la distinction entre la matière vivante, fût-elle érigée en concept (Мочалов, 1982), et les organismes vivants. Pour autant, ou plutôt grâce à cela même, la référence au fondateur de la noosphère a toujours été, que l'interlocuteur en difficulté eût été russe ou français, le moyen de se sortir d'une passe difficile dans les discussions scientifiques que nous pûmes avoir avec Sergueï Gorchkov. Et finalement, l'important était bien que « la matière vivante dans son habitat spécifique, la Biosphère, autrement nommée 'champ de stabilité vitale' (Vernadsky, 1929, pp. 163, 166, 193), ou 'domaine de la vie' [...] s'étend toujours plus loin sur et sous la surface de la planète (Vernadsky, 1929, p.82). Il est à l'origine entièrement constitué de matériaux inertes de nature géologique, et il va être [...] de plus en plus transformé en matière 'biogène' par l'action de la matière vivante » (Loiret, 2012, p. 85).

Quoi qu'il en soit, Sergueï Gorchkov voulait conclure que l'évolution de la biosphère influence, indirectement, la géodynamique interne de la planète. Dans nos débats entre auteurs français et russes, il était possible de ressentir la satisfaction intellectuelle, que Sergueï Gorchkov insufflait à tous, provoquée par la possibilité d'unifier ainsi la géographie et la géologie, l'étude des forces

⁸ Pendant la rédaction de cet article, le premier auteur a contacté M. le professeur Y. Lageat pour lui demander son avis à ce sujet. Celui-ci répondit que, pour la formation de la croûte continentale, « on privilégie habituellement l'accrétion à la faveur de la création de ceintures orogéniques, dont les plus anciennes sont localisées au centre des cratons et les plus jeunes sur leur pourtour, et l'on estime, en effet, que l'essentiel de cette cratonisation s'est opérée au cours du Précambrien, alors qu'au cours du Phanérozoïque un état quasi-stationnaire se serait établi entre soudure continentale et retour au manteau du matériel continental formé. Or, ce 'temps fossilifère', comme on disait, cet 'éon', comme on dit désormais, ne correspond-il pas à l'explosion de la vie multicellulaire ? Et donc la production de matière vivante n'est-elle pas [justement] en opposition de phase avec la production de croûte continentale ? (Y. Lageat, comm. écr., 15 juin 2020).

⁹ Notons d'ailleurs que c'est une revue russe que le grand géomorphologue australien a choisie pour publier son dernier article à ce sujet (Оллиер, Пайн, 2019).

externes et internes, et la volonté de placer avant toutes choses la connaissance de « l'enveloppe géographique » au sens d'A. Grigoriev (Григорьев, 1966). Pour imaginer cela, Sergueï Gorchkov aimait à dire que le lien systémique entre les bombements continentaux et les dépressions océaniques formait « la carte de visite de l'écosystème mondial, de la biosphère ». C'était pour lui la preuve de l'intuition visionnaire de Vernadski, pour qui la matière vivante exerçait une pression régulatrice sur les forces inertes de la nature.

3.2. L'élasticité de l'écosystème global

Sergueï Gorchkov pensait que la géoécologie devait être fondée sur la compréhension de l'homéostasie de la biosphère (Горшков, 1998), en quelque sorte la résilience du niveau d'organisation le plus élevé et d'échelle planétaire¹⁰, à la différence que la résilience conduit au retour à l'équilibre initial, tandis que l'homéostasie mène à un nouvel équilibre, certes proche, mais tout de même différent du premier (Hellige, 2019). En mettant fortement en avant l'échelle mondiale de l'homéostasie, il se distinguait des biologistes et de son collègue polonais Trojan Przemysław (1980), qui employait ce concept pour quantité de communautés d'être vivants de niveau scalaire inférieur. Sergueï Gorchkov employait le terme d'élasticité (*ouprougost'*) pour caractériser cette capacité de l'écosystème global à se réguler, à se maintenir autour d'un équilibre tant que certaines conditions étaient réunies (Горшков, 2006). Selon lui, celle-ci comporte une quinzaine de particularités, que nous nous permettons de résumer et rassembler ici en trois groupes.

L'homéostasie de la biosphère étant assurée par l'action systémique des liens de réciprocité entre la nature inerte et vivante, elle ne trouve sa place qu'à un niveau élevé d'absorption de l'énergie solaire par le biome planétaire et d'incorporation de l'énergie aux autres sphères par l'activité de la matière vivante. Dans ces conditions, le facteur biotique influence de façon majeure les processus morphodynamiques, affaiblit les phénomènes physiques d'ablation du matériel rocheux, ce fonctionnement s'exprimant par une quasi-stabilité des voies d'évacuation, un équilibre des grands bassins fluviaux. Il y a une intensification des interrelations entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère grâce à l'action plus grande de la matière vivante. Le corollaire de ce resserrement des liens avec la biosphère se trouve être un affaiblissement de l'enlèvement du matériel rocheux à l'échelle des temps géologiques.

L'homéostasie de la biosphère n'est possible que dans des conditions d'absence de phénomènes extrêmes et déstabilisateurs. L'histoire de la Terre a connu un certain nombre de ses catastrophes, capables de faire sortir pour un temps l'écosystème global de l'équilibre et d'affaiblir le potentiel productif et écologique du monde organique. La planète subit alors ce que Sergueï Gorchkov appelait « un régime cosmique dur », opposé au « régime cosmique doux », favorable à l'homéostasie de la biosphère. Il écrivait qu'on « connaît de façon certaine deux types de déstabilisation naturelle de la biosphère, d'une part la chute d'une météorite, qui est un événement instantané, d'autre part les déstabilisations plus longues à l'échelle des temps géologiques que sont les glaciations¹¹ » (Горшков, 2006, c. 481).

En dehors des phénomènes extrêmes, il se trouve que les liens entre les natures vivante et inerte sont fragiles à maints égards. Dans certains cas, il peut suffire de modifications mineures d'un ou plusieurs compartiments pour produire des changements majeurs dans l'écosystème. Cette pensée est une adaptation à l'environnement de la théorie des bifurcations des systèmes dynamiques, mise au point en s'appuyant sur les recherches pionnières du physicien russe Alexandre Andronov. On entend par transformation majeure un changement qualitatif (*качественное изменение*), un changement de nature dans l'organisation du système dynamique. L'action déstabilisatrice des sociétés humaines contemporaines pourrait bien donner cette impulsion. A ce sujet, Sergueï Gorchkov reprenait un certain nombre d'idées de son collègue géologue Vsévolod Zoubakov, en particulier celles du premier

¹⁰ Nous pourrions faire dire à G. Rougerie (1988, p. 218) que S. Gorchkov faisait partie de ces « auteurs [qui] font aussi de la biosphère, dans le champ de laquelle s'inscrivent ces écosystèmes, un niveau encore plus élevé de complexification et d'organisation : une sorte de super-organisme regroupant matière vivante et matière inorganique en relations avec elle – ce qui, en définitive, est très proche de la définition de la biosphère donnée par Vernadsky ».

¹¹ Se démarquant un peu d'autres chercheurs mondiaux, résumés en français par Francis Lethiers (1998), Sergueï Gorchkov préférerait plus insister sur l'influence destructive des glaciations à l'échelle de la biosphère que sur celle des chutes de météorites.

livre de celui-ci, *Le XXI^{ème} siècle et le scénario du futur, une analyse des effets de la crise environnementale mondiale* (Зубаков, 1995).

Sergueï Gorchkov avait confié au premier auteur de ce papier quelques mois avant sa disparition combien, au début de sa carrière, il avait été impressionné par la lecture de l'article d'André Cailleux et Jean Tricart traitant du problème de la classification des faits géomorphologiques (Cailleux et Tricart, 1956), grâce à la publication par Youri Mechtchériakov d'un recueil de traduction en russe de plusieurs travaux clefs de géomorphologues occidentaux, dont celui-ci. De la lecture de la version russe de cet article (Кайё, Трикар, 1959), Sergueï Gorchkov avait retiré la subdivision géographique de la biosphère en trois parties : « dense », « ténue » et « nue ». Il passerait la suite de sa carrière à construire sa géoécologie sur cette typologie, d'abord en y faisant entrer toutes les interrelations du système Terre, ensuite en fondant sur ce gradient plus ou moins zonal les fonctions homéostatiques de la biosphère, qu'il comptait au nombre de cinq : les fonctions « anti-érosive », « hydro-régulatrice », « adaptative », « édifiatrice » et celle « de biofiltration ». Bien que cela n'ait pas été la proposition initiale de Sergueï Gorchkov, les auteurs du présent papier ont décidé de mettre à part et développer cette dernière, du fait de son originalité, tout en résumant fortement les quatre premières.

La fonction homéostatique « anti-érosive » (*антидеструктивная*, « anti-destructive ») se prête bien à une opposition entre la biosphère dense et ténue. Au milieu d'une abondante bibliographie internationale concernant les valeurs de dégradation spécifique, de taux de dénudation, des différentes régions et bassins fluviaux de la planète, Sergueï Gorchkov voulait ici rendre hommage aux auteurs français qu'il considérait comme précurseurs en la matière, c'est-à-dire J. Tricart et A. Cailleux (1965), ainsi que J. Corbel (1964). Il avait notamment apprécié leur insistance sur l'altération biogéochimique et l'importance de la charge dissoute dans les grands bassins tropicaux. Les auteurs français de ce papier débattaient avec lui d'ajouter H. Erhardt (1956), mais il pensait que l'addition de l'opposition entre biostasie et rhéxistasie, qui n'avait pas fait d'émule en Russie, ne clarifierait pas le message par rapport au gradient de la biosphère dense et ténue. Toujours est-il que ce qui lui tenait le plus à cœur était de faire apparaître dans ce contraste les différences de liens systémiques entre biosphère, pédosphère, lithosphère, atmosphère et hydrosphère. A l'intérieur de la biosphère dense, il insistait sur les ressemblances et différences entre les forêts tropicales et les grandes forêts tempérées. Pour ces dernières, les recherches russes sont considérables et il s'appuyait sur les chiffres de dégradation spécifique, d'ailleurs très bas, donnés par A. Dedkov et montrant des nuances entre la taïga, la forêt mixte et leurs écotones (Дедков и др., 1977). Dans ce domaine, Sergueï Gorchkov lui-même travaillait sur les reconstitutions paléogéographiques des liens entre les couvertures végétales et pédologiques et les accumulations sédimentaires à partir de coupes effectuées dans les grandes plaines alluviales (Горшков, 1982).

La fonction homéostatique « hydro-régulatrice » (*водорегулирующая*), qui s'insère dans la quantification précise du cycle de l'eau, que les Russes furent les premiers à estimer à l'échelle planétaire (Корзун, 1974), fait que le bilan d'eau des grands bassins hydrographiques est commandé par la couverture végétale. O. Krestovski a montré le rôle déterminant des différentes phases physiologiques de la végétation forestière dans les valeurs d'écoulement à l'exutoire de différents bassins versants (Крестовский, 1986).

La fonction homéostatique « adaptative » (*адаптивно-редукционная*, « d'adaptation aux restrictions ») permet aux régions de biosphère ténue de rester en équilibre jusqu'à un certain point. Des phénomènes déstabilisateurs peuvent dépasser cette capacité, par exemple une augmentation de la sécheresse climatique ou un défrichement trop important. En s'appuyant sur les recherches de son collègue R. Néjikhovski (Нежиховский, 1971) et sur ses propres travaux inédits (Горшков, 1982), Sergueï Gorchkov a montré que l'évolution de la forme et de la densité du réseau hydrographique était corrélée aux modifications des liens entre les natures organiques et inertes. Dans sa thèse d'Etat, il fit tout particulièrement ressortir l'importance des forêts-galeries le long des fleuves traversant la zone steppique quant à la préservation de la capacité d'organisation de la biosphère.

La fonction homéostatique « édifiatrice » (*средообразующая*, « construisant le milieu environnemental ») est celle de toutes les caractéristiques de l'élasticité de la biosphère continentale qui découle le plus directement de la pensée de Vernadski. Depuis les travaux de ce dernier, les estimations quantitatives de la production photosynthétique mondiale, du poids de la biomasse planétaire (Базилевич и сотр. 1971), ou encore des flux de carbone (Кондратьев, Крапивин, 2004)

se sont certes beaucoup affinées, mais celle de l'entrée de l'énergie biogénique dans les sphères bioinertes reste la plus complexe. Cette dernière question réclame l'étude approfondie des flux d'énergie non seulement au contact entre la canopée et l'atmosphère, mais aussi entre l'air et le sol. Sergueï Gorchkov s'appuyait sur les recherches d'A. Krenke et A. Zolotokryline, spécialisées dans l'étude des flux d'énergie à travers les litières des différents types de végétation (Кренке, Золотокрылин, 1984), pour tenter de synthétiser des valeurs distinguant la biosphère dense tropicale, dense tempérée et ténue.

3.3. La biofiltration et l'importance des mers épicontinentales

La fonction homéostatique de « biofiltration productive » (*продукционно-биофльтрационная*) de l'océan réclame d'être traitée à part : pensée selon une démarche se voulant fidèle à Vernadski, liée à la fonction édificatrice, c'est celle qui manifeste le plus clairement son échelle globale. En effet, d'une part « l'océan mondial » (Шокальский, 1917) couvre plus de 70 % de la surface de la planète, renferme plus de 97 % de l'hydrosphère et se trouve être le moteur de son fonctionnement (Степанов, 1974, Vanney 2002), d'autre part c'est au contact entre les dépressions océaniques et les bombements continentaux que se trouve la clef de l'équilibre planétaire. Lors de leur conférence¹² au colloque de 2013 de la faculté de géographie de l'université de Moscou consacré au 150^{ème} anniversaire de la naissance de Vernadski, Sergueï Gorchkov et Alexandre Lissitsyne avaient mis en commun leurs cartes de « l'épaisseur » (*мощность*) de la biosphère, celle des continents, pour l'un, et de l'océan, pour l'autre, synthétisant ainsi « la capacité d'organisation » du système Terre. Outre la juxtaposition des différences de densité de la couverture végétale des continents et des gradients de production primaire du phytoplancton, une spécialité scientifique russe héritée des recherches de Piotr Moisseev (Моисеев, 1969, 1989), et de filtration du zooplancton océanique, il ressortait que les interfaces entre les deux formaient le cœur de la fonction homéostatique de la biosphère. Vu du côté du géomorphologue des continents, c'est tout le domaine marin sous l'influence des embouchures fluviales, « *l'oustiévaïa tchast'* » (*устьевая часть*) de Sergueï Gorchkov (Горшков, 1998), vu par le géologue océanographe, c'est « le filtre marginal » d'Alexandre Lissitsyne (Лисицын, 1994, 2004), qui avait commencé ses recherches en mer de Béring (Лисицын, 1966) avant de les généraliser à l'échelle mondiale.

La grande idée que Sergueï Gorchkov voulait faire passer dans l'article inachevé que nous reconstruisons ici¹³ était que, à l'échelle mondiale, c'est la qualité des interrelations se produisant dans ces zones de contact qui témoigne de la construction homéostatique du milieu environnemental. C'est donc ici que « le signal intégré des continents et de l'océan » de S. Gorchkov, ou « l'enregistreur naturel des interrelations des géosphères de la Terre » (*природный самописец взаимодействия геосфер Земли*) d'A. Lissitsyne (Лисицын, 2014), doit être étudié prioritairement.

Le raisonnement est fondé sur le concept « d'océan vivant » (*живого океана*) d'A. Lissitsyne (Лисицын, 2004), lui-même issu des travaux plus anciens du même auteur sur le rôle du plancton dans les processus de sédimentation (Лисицын, 1974), repris et enrichis par d'autres océanographes russes comme E. Romankévitch dans sa théorie de la biogéochimie de l'océan (Романкевич, 1977), ou encore E. Emélianov dans sa typologie de toutes les zones de contact, que ce soient des fronts entre masses d'eau en plan ou des pycnoclines entre masses d'eau superposées (Емельянов, 1998 Emelyanov, 2005). Selon ces auteurs, l'ensemble du phénomène de la sédimentation océanique est commandé par l'activité des organismes vivants, à travers la « biofiltration ».

Si l'on veut percer le cycle planétaire à un endroit, il convient de commencer par l'apport de matières en suspension et dissoutes des continents à l'océan, ces dernières servant de nutriments au premier maillon trophique, le phytoplancton. La vie marine s'accroît, tout particulièrement au large des grandes embouchures fluviales d'une part, des remontées d'eau profonde d'autre part, et plus largement dans toutes les mers épicontinentales, où une tranche d'eau de moins de 200 m recouvre les fonds armés de croûte continentale. Le zooplancton broute le phytoplancton, et il filtre également les

¹² Intervention orale non publiée. Лисицын А.П., Бышев В.И., Горшков С.П. (2013) на юбилейной сессии 150 лет со дня рождения В.И. Вернадского, 7 мая 2013 г. на географическом факультете МГУ.

¹³ Décédé en février 2020 à l'âge de 96 ans, pendant la rédaction même de cet article, A. Lissitsyne n'a pu être interrogé directement, pour nous donner sa vision de sa collaboration avec S. Gorchkov.

matières en suspension. C'est lui qui rend l'eau marine et, plus au large, l'eau océanique claires. Grâce à cette biofiltration, la radiation solaire pénètre mieux dans l'océan et celui-ci se réchauffe plus. Cet emmagasinement calorifique est transféré par advection aux masses d'air qui se déchargent de leur humidité sur les continents. Ces derniers connaissent un accroissement de leur biomasse. Les grands fleuves reçoivent et transportent en direction des mers plus de matières organiques et le cycle se poursuit.

Pour Sergueï Gorchkov, l'écosystème mondial avait basculé dans cette sorte de cercle vertueux lors de l'apparition des premiers êtres pluricellulaires il y a environ 670 millions d'années, à la limite du Riphéen et du Vendien. Puis l'explosion cambrienne il y a environ 540 millions d'années aurait permis la diversification et la brusque augmentation du rôle des animaux biofiltreurs, en particulier grâce au développement des petits crustacés et aussi des premiers animaux benthiques (Барсков, 2010). Formé par Jean-René Vanney, le premier auteur de ce papier opposait à Sergueï Gorchkov la prudence de son mentor quant au fonctionnement de l'océan mondial avant le début du Tertiaire. Pour lui, comme pour d'autres chercheurs (Railsback *et al.*, 1990), la chaleur océanique avait connu précédemment une assez grande uniformité et c'était lors de l'apparition des fronts et des discontinuités verticales que s'était produite « la grande césure » (Vanney, 2002, p. 227). Sergueï Gorchkov n'avait jamais abandonné son goût pour le très long temps géologique, y compris précambrien, issu de sa double formation de géographe et de géologue, bien qu'il mît toujours la seconde au service de la première, pour construire sa géoécologie.

Quoi qu'il en soit, le caractère éminemment géographique de cette démarche se trouve dans l'association entre le phénomène causal principal, la biofiltration, et sa localisation préférentielle dans un espace de contact, le domaine littoral et les mers épicontinentales, cumulant des caractères d'étagement vertical, dans ce qu'A. Defant (1928) aurait appelé « la troposphère océanique », et de zonation en plan, dans ce qu'E. Haug (1907) aurait nommé « la province néritique ». Un géographe formé par J.-R. Vanney ne pouvait voir dans cette proposition qu'une confirmation¹⁴ du caractère essentiel du « domaine épicontinental » (Vanney, 2002, p. 122), cet « entre-deux turbulent » (*id.*) que le grand océanographe français avait placé au cœur de ses recherches dès le début (Vanney, 1977) et dont quelques Américains (Walsh, 1988) avaient tenté de revaloriser l'importance. C'est ici que se rejoignent les transferts advectifs et convectifs (Vanney, 2002), c'est ici que, selon la théorie de la sphère paysagère de Mil'kov dans sa variante d'eau continentale (Мильков, 1970), se produit le contact le plus interactif entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la lithosphère, c'est ici que, selon Sergueï Gorchkov, se joue l'équilibre homéostatique de la biosphère.

Au-delà de l'idée générale, Sergueï Gorchkov avait tenté de quantifier, lui-même et en collaboration avec Alexandre Lissitsyne, quelques-uns des flux liant les parties de l'écosystème mondial fondé sur le domaine épicontinental. Les auteurs français de ce papier étaient chargés de les comparer avec les recherches propres et les synthèses bibliographiques de Jean-René Vanney.

En tant que géomorphologue, Sergueï Gorchkov préférait entrer dans la boucle par l'estimation des transferts de matières depuis les continents vers l'océan. Quand il était jeune chercheur, il avait oscillé entre les deux grandes approches soviétiques à ce sujet, d'une part les extrapolations mondiales effectuées à partir des taux de dégradations mesurés sur des bassins versants représentatifs (Страхов, 1961), d'autre part la somme des apports de tous les grands fleuves pour lesquels il existait des mesures de charge (Лопатин, 1950). C'est selon cette seconde méthode que G. Lopatine avait estimé pour la première fois l'apport fluviatile de matières solides à l'océan à 12,7 milliards de tonnes par an¹⁵ et d'éléments dissous à 3,6 milliards de tonnes (Лопатин, 1950). Finalement, Sergueï Gorchkov estimait à 17,5 milliards de tonnes l'apport fluviatile annuel en suspension, à 2,7 milliards celui en éléments dissous, à 1 milliard les apports du ruissellement direct, à 2,4 milliards les apports directs des glaciers entrant dans l'océan, à 2 milliards les dépôts de poussières éoliennes (Горшков, 1998), auxquels il conviendrait d'ajouter, vu du côté de l'océanographe, les apports dissous provenant des fonds océaniques eux-mêmes. Les travaux américains classiques étaient arrivés à des totaux un peu plus faibles (Milliman and Mead, 1983), repris et discutés par J.-R. Vanney

¹⁴ Concernant la crise majeure de l'écosystème océanique mondiale du tournant du Permien et du Trias, J.-R. Vanney (1993, p. 66) écrivait qu'il s'agissait d'une « triple réduction des plates-formes continentales (par suite de la baissée marine), de la production océanique et des apports en nutriments livrés par le continent ».

¹⁵ Dans son tableau 2 de la page 23, G. Lopatine proposait un total mondial de 12 695 000 tonnes, dont 7 445 000 pour l'Asie.

(1991), qui estimait, dans sa belle formule du « don de Gaïa à Okeanos » (p. 33), les apports fluviaux à 13,5 milliards de tonnes de matières en suspension et 2 milliards de tonnes les tractions sur le fond. Les estimations restent discutées aujourd'hui, et certains proposent de nouvelles méthodes gravimétriques satellitaires pour tenter de suivre les dépôts au large des grandes embouchures (Mouyen *et al.*, 2018), sans pour l'instant proposer de nouveaux chiffres qui remettraient en cause les ordres de grandeur précédents.

Selon A. Lissitsyne, seuls 7 à 10 % de ces totaux atteignent le large, l'océan au sens strict. D'après lui, au moins 16,7 milliards de tonnes sont déposés dans le filtre marginal (Лисицин, 2004). C'est ici que se produit le tri du matériel, et, concernant les particules les plus fines et les colloïdes, le dépôt se fait s'il y a coagulation ou floculation. Ce sont ainsi 90 à 93% des apports qui restent sur la plate-forme continentale. Le phytoplancton et le zooplancton biofiltreur purifient le sommet de la colonne d'eau de la plupart de ses particules fines lors de la chaîne des processus alimentaires et certains animaux benthiques ont une action similaire. Alexandre Lissitsyne a particulièrement étudié les conséquences de la formation des pelotes fécales, boulettes et autres grumeaux organiques, tous ces agrégats que les Anglo-saxons appellent *pellets* et les Russes, quand ils ne reprennent pas le terme international dominant, *komotchki*. Le phénomène majeur, qui, à des degrés divers et selon des modalités différentes, concerne les Ciliés, les Tuniciers, les Copépodes, les Euphausiacés, ou encore les Amphipodes, est regroupé sous l'appellation de biofiltration, un terme dont le Japonais Susumu Honjo et le Russe Alexandre Lissitsyne se partagent la paternité (Honjo *et al.*, 1982). Grâce à leur taille, ces agrégats sédimentent à une vitesse de 500 à 600 m par jour, contre 0,07 à 2 m par jour pour les mêmes particules fines qui n'ont pas été biofiltrées. En outre, les biofiltreurs agrègent, par action directe ou indirecte, l'essentiel de la charge qui était arrivée sous forme dissoute. L'océan mondial est ainsi filtré en quelques six mois.

Cependant, lors de leur descente, les *komotchki* se désintègrent pour la plupart. Selon A. Lissitsyne, seuls 5% atteignent le fond et 1 % se transforme vraiment en dépôt de fond (Лисицин, 2004). C'est que les substances sont pour l'essentiel recyclées, en particulier grâce à des courants de remontée. C'est ainsi que s'explique la contradiction entre le fait que la biomasse des océans est nettement plus faible que celle des continents, alors même que sa production ne l'est pas. Sur ce dernier point, une partie de la littérature scientifique occidentale admet que l'océan et l'ensemble des continents puissent contribuer à peu près pour moitié chacun à la production primaire planétaire (Steinmann-Nielsen et Jensen 1957, Field *et al.*, 1998), et encore cette parité était-elle considérée par certains comme étant sans doute trop favorable à l'océan (Vanney, 2002), d'autres estimations donnant une nette avance aux continents (Lageat, 2004). En revanche, Sergueï Gorchkov, en intégrant aux siennes les recherches d'A. Lissitsyne, estimait que la production océanique dépassait celle des continents. Qu'il soit très fort, ou seulement fort, toujours est-il que ce rattrapage effectué par la vie océanique est dû à la beaucoup plus grande rapidité de son renouvellement. C'est « l'hyperproductivité » de J.-R. Vanney (2002 p. 69), à laquelle répond la *высокая биопродуктивность* de V. Gordeev (Гордеев, 2012). Selon les chiffres russes repris par Sergueï Gorchkov, le phytoplancton se renouvelle 660 fois par an, le zooplancton 2,5 fois.

Cependant, la plus-value apportée par le géographe, même quand il travaille à l'échelle de la biosphère comme Sergueï Gorchkov se piquait de le faire, réside dans la mise en avant des différenciations spatiales. En mettant en commun les cartes de production primaire et de biofiltration de l'océan réalisées par A. Lissitsyne avec les siennes, couvrant les continents, Sergueï Gorchkov ambitionnait de comparer, dans le temps et dans l'espace, les régions où la productivité provient de l'arrivée des particules continentales et celles où la productivité provient des *upwellings*, les *podiotmy* des Russes. Selon ses premières conclusions, qui méritaient d'être confirmées ou infirmées, les régions d'embouchures avaient une beaucoup plus grande importance pour l'équilibre de l'écosystème mondial que celles des grands courants de remontée, car la silice et le phosphore en dépendent. Il estimait que la forte augmentation de la production primaire de toute la mer de Chine orientale observée à chaque grande crue, en particulier celles de 1998 et 2010, fournissait un bel argument en ce sens (Горшков, 2015).

Cette question de la part des embouchures et des *upwellings* fut l'une des dernières posées par le premier auteur de cet article à Sergueï Gorchkov juste avant sa disparition. Elle était liée à une autre interrogation, celle de savoir pourquoi celui-ci ne prenait pas la peine de souligner l'importance du travail bactérien de minéralisation de la matière organique et de mise à disposition des nutriments dans

la grande boucle du recyclage, pour en revenir toujours à la biofiltration. Sergueï Gorchkov pensait que c'était peut-être là une différence avec les recherches occidentales, où l'importance des *upwellings* était, selon lui, plus mise en avant. A la lecture de l'ouvrage remarquable de Gabriel Rougerie (1993), géographe français qui était très au fait des recherches russes, le dilemme se confirme¹⁶. La difficulté est sans doute de passer d'études d'exemples locaux à une extrapolation planétaire, mais aussi de chiffres de productivité à l'idée plus conceptuelle de la primauté de certains liens systémiques sur d'autres dans la préservation de l'homéostasie, ou encore de prendre en compte les échelles temporelles en plus des échelles spatiales sur le temps long. Dans cet ordre d'idée, les « résurgences épicontinentales » de J.-R. Vanney (2002) auraient peut-être permis de concilier certains contrastes spatiaux, et la paléo-océanographie des *upwellings* (Thiede and Suess, 1983, Ganeshram and Pedersen, 2010) certaines oppositions temporelles.

Depuis la révolution squelettique du Cambrien, dont I. Barskov avait étudié les modifications du milieu océanique, notamment en termes de lumière, de température et d'oxygène, qui en étaient à l'origine (Барсков, 2010), et que Sergueï Gorchkov préférait présenter comme le moment clef d'apparition des animaux biofiltreurs, l'homéostasie de la biosphère avait été perturbée à plusieurs reprises par des phénomènes naturels, parmi lesquels il mettait surtout en avant les glaciations. Il reprenait « la valeur communément admise de 120 m » (Lageat, 2019, p. 32) d'abaissement du niveau de la mer lors de la dernière glaciation et le fait que les teneurs en gaz carbonique dans l'atmosphère étaient moins élevées qu'aujourd'hui, pour relier ces deux phénomènes avec la chute de la biomasse planétaire, qui aurait alors été de moitié environ. Il ne souhaitait pas participer lui-même au débat quantitatif sur les corrélations entre l'évolution de la biomasse planétaire, celle de la production primaire et celle des taux de gaz carbonique, résumé par son collègue O. Eremtchenko (Еремченко, 2004), mais préférait choisir l'entrée du rôle de l'inondation et de l'exondation de la plate-forme littorale. Les recherches américaines avaient montré combien il était compliqué d'ajouter ou de retrancher au bilan planétaire du carbone l'inondation des écosystèmes littoraux lors de la remontée des eaux postglaciaire, dont les plantes terrestres meurent mais qui fournissent aussi une grande quantité de sédiments organiques (Sundquist, 1993). Pour Sergueï Gorchkov, la résolution de la contradiction, ou du moins le rétablissement de l'équilibre de la biosphère, se trouvait, au moins en partie, dans le phénomène de biofiltration. Il revisitait la question de l'alternance entre « l'abondance sédimentaire » et « la pénurie » (Prat *et al.*, 2014), ou du passage de l'un à l'autre, par la fourniture de sédiments remontés sur la plate-forme continentale lors de chaque transgression puis son arrêt, en s'attachant non pas aux conséquences géomorphologiques, mais à l'ensemble de l'écosystème planétaire. Mais il revenait toujours sur le fait que les glaciations devaient être considérées comme les principales catastrophes planétaires récentes, du fait de l'effondrement de la biomasse mondiale qu'elles provoquaient. Au contraire, lors des interglaciaires, pendant lesquels le niveau marin a le plus souvent été proche de l'actuel du fait que le volume de l'eau emprisonné sous forme solide dans les glaces antarctiques a assez peu varié, comme les Russes K. Markov et I. Souïétova le démontrèrent pour la première fois¹⁷ (Марков, Суетова, 1965), le « régime cosmique doux » défini par Sergueï Gorchkov était propice à l'homéostasie de la biosphère.

Comme leurs collègues étrangers, les océanographes russes soulignent depuis longtemps que c'est l'océan qui, grâce aux brassages convectifs faisant pénétrer les calories en profondeur, emmagasine l'essentiel de la chaleur apportée par la radiation solaire, puis la restitue aux continents, avant tout par la chaleur latente de l'évaporation transmise aux précipitations, non sans avoir auparavant redistribué en son sein une bonne part des apports par les grands courants marins (Степанов, 1974, Деменицкая, 1974, Марков, 1980). Mais ce fondement bien connu de l'écosystème planétaire était intégré par Sergueï Gorchkov dans sa vision héritée de Vernadski, en trois points. D'abord, c'est aux grands bassins fluviaux recouverts de « biosphère dense » que ce « *péreraspréditel'* » (*непераспределитель*, redistributeur) majeur qu'est l'océan redonne l'essentiel de la chaleur et de l'humidité ; en retour, ce sont eux qui forment le principal « *postavchtchik* »

¹⁶ « Les eaux des grands cours d'eau [...] y apportent leur faible salinité, leurs alluvions et des produits en solution, éventuellement nutritifs. [...] Beaucoup plus importants, et plus compliqués, sont les rapports avec la deuxième source éventuelle de substances nutritives, les niveaux situés au-dessous de celui où [...] se déroule l'activité photosynthétique (Rougerie, 1993, pp. 19-20).

¹⁷ André Cailleux (1967) publia un résumé de cette recherche, mais diffusa par la même occasion en France une référence bibliographique incomplète la concernant.

(*ноставищик*, fournisseur) de matières nutritives biogéniques aux eaux marines. Ensuite, c'est grâce à la biofiltration, surtout effectuée au large des embouchures et dans les mers épicontinentales, que cette boucle fonctionne à son meilleur régime ; « si la biofiltration n'existait pas, les eaux auraient des propriétés thermiques différentes et la principale machine à chaleur de la planète, l'océan mondial, développerait moins d'énergie qu'il ne le fait actuellement » (Горшков, 2007, c. 53, en russe¹⁸). Cela conduisait Sergueï Gorchkov à formuler que l'homéostasie de la biosphère reposait sur la synthèse de ces deux points. Nous nous plaisons à souligner ici combien le vocabulaire même employé par le géographe russe comportait de similitudes avec celui de J.-R. Vanney, ce dernier ayant toujours gardé son mot préféré de « machine » pour désigner ce que toute la communauté scientifique appelait le « système » et ayant essayé de diffuser l'expression « d'équilibre thermostatique¹⁹ » là où Sergueï Gorchkov voyait la clef de la biosphère homéostatique. Il n'est pas inintéressant non plus de noter qu'André Louchet (2014, p. 5) écrit, dans sa bien nommée *planète océane*, que « les océans recouvrent 71 % de la biosphère », là où d'autres eussent préféré l'écosphère ou la géosphère.

Conclusion

Que ce soit à travers des comptes-rendus d'ouvrages, comme celui de Jean Tricart effectué par F. Taillefer (1980), dans lequel celui-ci parle de « plaidoyer pro domo », ou à travers des réflexions que J. Lévy (1995) appellerait égo-géographiques, comme le retour sur elle-même d'Yvette Veyret (2003), la géographie française avait déjà abordé la question de savoir, sinon pourquoi, du moins comment, un géomorphologue pouvait évoluer vers « l'éco-géographie » (Tricart et Kilian, 1979) ou le « géo-environnement » (Veyret, 2001). L'hommage que nous rendons ici à Sergueï Gorchkov peut certes être considéré comme un simple exemple de plus. Pourtant, s'agissant d'un Russe, il ne peut entrer dans le schéma d'interprétation français d'une géographie physique qui fut à une époque fortement dominée par la géomorphologie, où les biogéographes naturellement tournés vers le géosystème russe, comme Georges Bertrand ou Gabriel Rougerie, étaient rares, si bien que la géographie environnementale naissante nécessitait de recruter parmi les géomorphologues qui pressentaient tout l'intérêt de cette ouverture et de ce décloisonnement disciplinaire²⁰. En Russie, la puissance de l'héritage biogéographique de L.S. Berg et de l'école de pédologie des successeurs de Dokoutchaïev était telle qu'il n'était pas besoin de faire appel à des géomorphologues pour construire une géo-écologie. Sans approfondir ici aucunement le débat épistémologique, nous avons tenté de montrer que l'évolution de Sergueï Gorchkov s'est largement faite à partir du moment où il lui est apparu que l'intersection de la lithosphère continentale et de l'hydrosphère océanique formait le domaine où se jouait la capacité de la biosphère à préserver son équilibre planétaire. Dans la lignée de Vladimir Vernadski, auquel se référait en permanence Sergueï Gorchkov, il y avait là comme une intuition géniale, mais suggérée par une démarche empirique et qualitative, presque philosophique, ne reposant pas vraiment sur des preuves scientifiques qui eussent été établies par lui, le géographe pourtant durci par sa double formation de géologue.

Sergueï Gorchkov souhaitait que notre article commun se terminât par les perturbations humaines récentes et leur caractère déstabilisateur quant à l'homéostasie de la biosphère. Concernant les menaces anthropiques envers la fonction homéostatique de l'océan, il pensait nous faire plaisir en citant l'ouvrage français de J.-P. Ehrhardt et G. Seguin (1978) sur le plancton, qui, il est vrai, avait bénéficié d'une traduction complète en russe (Эрхард, Сежен, 1984). Malgré l'immense respect que nous avons tous pour Sergueï Gorchkov, il nous faut honnêtement concéder que nous trouvions ce passage écrit par lui sur le développement durable quelque peu ingénu, certes libre et affranchi de contraintes onusiennes, mais peut-être passablement utopique. Cependant, une fois surmontée cette première impression, nous préférons en retenir que ses idées avaient le mérite de conseiller que les efforts de protection de la nature à l'échelle planétaire fussent concentrés sur le milieu littoral et les

¹⁸ « Если бы не биофильтрация, то мировая акватория имела бы иные теплофизические свойства. Главная тепловая машина мира - океан - имел бы меньшую мощность, чем та, которой он обладает ».

¹⁹ « L'océan [...] joue le rôle de thermostat en contribuant au maintien de l'équilibre climatique de la planète » (Vanney, 1991, p. 30).

²⁰ G. Bertrand et O. Dollfus (1973, p. 161) pensaient même que « la géographie classique ne parvient pas à saisir globalement le milieu géographique, d'autant plus qu'elle se « sectorialise », notamment en France, par suite de la vigoureuse impulsion donnée par E. de Martonne à la géomorphologie – qui tend à s'ériger en discipline autonome, relevant d'une autre finalité ».

mers épicontinentales. C'était aussi admettre le bien-fondé de l'école russe de géographie et l'inscrire dans cette tradition de F. Mil'kov selon laquelle le contact des trois sphères dans le domaine littoral et épicontinental est la clef du fonctionnement paysager de la planète (Милюков, 1970), dans une démarche plus conceptuelle et systémique que les réflexions anglo-saxonnes les plus proches, comme celles d'E.J. Perkins (1974) ou d'A.R. Robinson et K.H. Brink (1998).

Remerciements : les auteurs tiennent à remercier M. le professeur Yannick Lageat (université de Bretagne occidentale) et M. le professeur Hervé Regnault (université de haute Bretagne) pour leur relecture du manuscrit et leurs conseils avisés.

Bibliographie

- Bertrand G. et Dollfus O. (1973) « Le paysage et son concept » *L'Espace géographique*, 2(3) : 161-163.
- Cailleux A. (1967) « Volume des glaciers et niveaux marins, d'après K.K. Markov et I.A. Souïetova » *Annales de Géographie*, 76(416) : 471-472.
- Cailleux A. et Tricart J. (1956) « Le problème de la classification des faits géomorphologiques » *Annales de Géographie*, 65(349) : 162-186.
- Corbel J. (1964) « L'érosion terrestre, étude quantitative (Méthodes - Techniques - Résultats) » *Annales de Géographie*, 73(398) : 385-412.
- Defant A. (1928) "Die systematische Erforschung des Weltmeeres" *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* : 459-505.
- Ehrhardt J.-P. et Seguin G. (1978) *Le plancton : composition, écologie, pollution*. Paris, Gauthier-Villars, 210 p.
- Emelyanov E.M. (2005) *The barrier zones in the Ocean*. Berlin Springer, 633 p.
- Erhart H., 1956, *La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Esquisse d'une théorie géologique et géochimique, biostase et rhexistase*. Paris, Masson, 90 p.
- Field C.B., Behrenfeld M.J., Randerson J.T., Falkowski P. (1998) "Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components", *Science*, 281(5374): 237-40.
- Ganeshram R.S. and Pedersen Th.F. (1998), "Glacial-interglacial variability in upwelling and bioproductivity off NW Mexico: Implications for Quaternary paleoclimate" *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 13(6): 634-645.
- Gargaud M., Martin H., Lopez-Garcia P., Montmerle Th. et Pascal R. (2009) *Le Soleil, la Terre... la vie, la quête des origines*. Paris, Belin, 304 p.
- Gorshkov S.P. and Mochalova O.I. (2016) "Biospheric organization as a 'continents – oceanic basins system" *Geography, environment, sustainability*, 01(09): 4-20.
- Haug E. (1907) *Traité de géologie. I, Les phénomènes géologiques*, Paris, A. Colin, 536 p.
- Hellige H.D. (2019) "The metaphorical processes in the history of the resilience notion and the rise of the ecosystem resilience theory" in Ruth M. and Goessling-Reisemann S., Ed, *Handbook on resilience of socio-technical systems*. Cheltenham, Edward Edgar, 432 p. : 30-51.
- Honjo S., Manganini S.J., Cole J.J. (1982) "Sedimentation of biogenic matter in the deep ocean" *Deep Sea Research Part A Oceanographic Research Papers*, 29(5): 609-625.
- Lageat Y. (2004) *Les milieux physiques continentaux*. Paris, Belin, 192 p.
- Lageat Y. (2019) *Les variations du niveau des mers*. Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux, 251 p.
- Lethiers F. (1998) *Evolution de la biosphère et événements géologiques*. Paris, GB, 321 p.
- Lévy J., 1995, *Égogéographies : matériaux pour une biographie cognitive*, Paris, L'Harmattan, coll. « Géotextes », 190 p.
- Loiret R. (2012) *Rendre compte de la biodiversité dans les relations Homme-Nature, la biosphère selon Vernadsky, contradiction du principe de Carnot*. Rambouillet, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Cahiers REEDS, CR n° 2012-04, 130 p.
- Louchet A. (2014) *La planète océane, précis de géographie maritime*. Paris, A. Colin, 2^{ème} éd., 560 p.
- Lovelock J.E. and Margulis L. (1974) "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis" *Tellus*, 26(1-2): 2-10.

- Milliman J.D. and Mead R.H. (1983) "World-wide delivery of river sediment to the oceans" *The Journal of Geology*, 91(1): 1-21.
- Mouyen, M., Longuevergne, L., Steer, P. *et al.* (2018) « Assessing modern river sediment discharge to the ocean using satellite gravimetry" *Nature Communications*, 9(3384): <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05921-y>
- Nicollet Ch. (2014) « Origine et évolution de la croûte continentale » *Apbg Biologie Géologie*, 2 : 1-19.
- Ollier C.D. and Pain C.F. (2019) "Neotectonic mountain uplift and geomorphology" *Геоморфология*, 4: 3-26
- Perkins E.J. (1974) *The biology of estuaries and coastal waters*. London, Academic Press, 678 p.
- Prat M.-C., Lageat Y. et Auly T. (2014) *Le littoral, paysages et dynamiques naturelles*. Bordeaux, Confluences, 119 p.
- Przemysław T. (1980) *Homeostasa ekosystemów*. Warszawa, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, 149 s.
- Railsback, L.B., Ackerly, S.C., Anderson, T.F., Cisne, J.L. (1990) "Palaeontological and isotope evidence for warm saline deepwaters in Ordovician oceans" *Nature*, 343: 156-159.
- Robinson A.R. and Brink K.H. (1998) *The global coastal ocean*. New York, John Wiley, 1062 p.
- Rougerie G. (1988) *Géographie de la biosphère*. Paris, A. Colin, 288 p.
- Rougerie G. (1993) *Biogéographie des milieux aquatiques*. Paris, A. Colin, 252 p.
- Ruddiman W.F., Dir. (1997) *Tectonic uplift and climate change*. New York, London, Plenum, 535 p.
- Stemann-Nielsen E. and Jensen A.A. (1957) "Primary oceanic production. The autotrophic production in organic matter in the oceans" in *Galathea Report. Scientific results of the Danish deep-sea expedition round the world, 1950-52*. Copenhagen, Danish Science Press, vol. 1, 260 p.: 49-136.
- Sundquist, E.T. (1993) "The Global Carbon Dioxide Budget" *Science*, 259(5097), Feb. 12: 934-941.
- Taillefer F. (1980) « Ecogéographie » *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 51(2) : 209-21.
- Thiede J. and Suess E., Ed (1983) *Coastal upwelling: its sediment record, Part B: sedimentary records of ancient coastal upwelling*. New York, Plenum Press, NATO Conference Series, Series IV, Marine Sciences, vol. 10b, 610 p.
- Touchart L. (2010) *Les milieux naturels de la Russie, une biogéographie de l'immensité*. Paris, L'Harmattan, 460 p.
- Tricart J. (1972) *La Terre planète vivante*. Paris PUF, 184 p.
- Tricart J. et Cailleux A. (1965) *Introduction à la géomorphologie climatique*. Paris, Sedes, 306 p.
- Tricart J. et Kilian J., (1979) *L'éco-géographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris, Maspéro, 326 p.
- Vanney J.-R. (1977) *Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine*. Paris, Sedes, 474 p.
- Vanney J.-R. (1991) *Introduction à la géographie de l'océan*. Paris, Oceanis, 214 p.
- Vanney J.-R. (1993) *Le mystère des abysses*. Paris, Fayard, 522 p.
- Vanney J.-R. (2002) *Géographie de l'océan global*. Paris, GB, 335 p.
- Veyret Y. (2001) *Géo-environnement*. Paris, A. Colin, 160 p.
- Veyret Y. (2003) « Quelle place pour la géographie dans les enjeux environnementaux ? » d'après une conférence d'Yvette Veyret à l'École Normale Supérieure de Lyon, *Géococonfluences*, janvier 2003, republiée en avril 2018. URL : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-thematiques/remue-meninges/yvette-veyret>
- Walsh J.J. (1988) *On the nature of the continental shelves*. San Diego, Academic Press, 520 p.
- Амалицкий В.П. (1896) « О геологическом развитии организмов и земного рельефа » *Варшавские университетские известия*, 6 : 1-31.
- Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н. (1971) « Сколько весит живое вещество планеты ? » *Природа*, 1 : 46-53.
- Барсков И.С. (2010) « Палеонтология и экология » // Смуров А.В., Василевич Ф.И., Непоклонова М.И., Макеева В.М., отв. ред., *Наука о Земле : геоэкология*. Москва, КДУ 2-е изд., перераб., 564 с. : 362-378.
- Вернадский В.И. (1926) *Биосфера*. Ленинград, Научное химико-техническое изд.-во, 376 с.
- Вернадский В.И. (1934-1940) *Проблемы биогеохимии*. Москва, Наука, переиздание 1980, 320 с.

- Емельянов Е.М. (1998) *Барьерные зоны в океане*. Калининград, Янтарный сказ, 416 с.
- Гордеев В.В. (2012) *Геохимия системы река-море*. Москва, Матушкина И. И., 452 с.
- Горшков С.П. (1968) «Ледниковые периоды и рельеф суши» *Земля и вселенная*, 1 : 24-33.
- Горшков С.П. (1975) «Тектоносфера, экзогенные процессы и живое вещество» *Известия Академии Наук СССР, сер. геогр.*, 4 : 20-34.
- Горшков С.П. (1982) *Экзодинамические процессы освоенных территорий*. Москва, Недра, 286 с.
- Горшков С.П. (1992) *Эколого-географические основы охраны природы*. Москва, Изд-во МГУ, 123 с.
- Горшков С.П. (1998) *Концептуальные основы геоэкологии*. Смоленск, Изд-во СГУ, 447 с.
- Горшков С.П. (2005) *Экзодинамика окружающей среды*. Изд-во МГУ, 151 с.
- Горшков С.П. (2006) «Биосфера и человек: проблемы взаимодействия» // Касимов Н.С., Клиге Р.К., Отв. Ред., *Современные глобальные изменения природной среды*. Москва, Научный мир, Т.2, 776 с. : 456-485.
- Горшков С.П. (2007) *Учение о биосфере. Введение*. Москва, Изд-во МГУ, 118 с.
- Горшков С.П. (2010) «Холодная китская война с горючими ископаемыми: возможная цена для России» *Энергия, экономика, техника, экология*, 4 : 56-60.
- Горшков С.П. (2015) «Организованность биосферы и устойчивое развитие» *Жизнь Земли*, 37 : 62-84.
- Горшков С.П., Сысуев В.В. (2012) «Мифы о глобальном потеплении и реалии. Ограничения и возможности противодействия» // *Современные глобальные изменения природной среды. Т.4. Факторы глобальных изменений*. Москва, Научный мир, 540 с. : 412-442.
- Григорьев А.А. (1966) *Закономерности строения и развития географической среды. Избранные теоретические работы*. Москва, Мысль, 382 с.
- Дедков А.П., Мозжерин В.И., Ступишин А.В., Трофимов А.М. 1977, *Климатическая геоморфология денудационных равнин*. Казань, Изд-во Казанского Университета, 224 с.
- Деменичкая Р.М., отв. ред., (1974) *Океанографическая энциклопедия*. Ленинград, Гидрометеиздат, 631 с.
- Еремченко О. З. (2004) *Учение о биосфере*. Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, Изд. 2-е, доп., 251 с.
- Закруткин В. Е., 2013, «Об относительном количестве живого вещества на разных этапах эволюции биосферы» *Живые и биокосные системы*, 2 : 20 с. <http://www.jbks.ru/archive/issue-2/article-3>.
- Зубаков В.А. (1995) *XXI век. Сценарий будущего: анализ последствий глобального экологического кризиса*. Санкт-Петербург, Центр морского технического университета, 86 с.
- Исаченко А.Г. (1965) *Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование*. Москва, Высшая школа, 327 с.
- Кайё А., Трикар Ж. (1959) «Проблема классификации геоморфологических явлений» // Мещеряков Ю. А., ред., *Вопросы климатической и структурной геоморфологии. Сборник переводных статей*. Москва, Изд-во иностранной литературы, 234 с. : 32-66.
- Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф. (2004) *Моделирование глобального круговорота углерода*. Москва, Физматлит, 336 с.
- Корзун В. И., пред. Ред. Коллегия (1974) *Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли*. Ленинград, Гидрометеиздат, 638 с.
- Кренке А.Н., Золотокрылин А.Н. (1984) «Исследование роли типов растительности во взаимодействии подстилающей поверхности и атмосферы» *Известия Академии Наук СССР, сер. Физика атмосферы и океана*, 20(11) : 1081-1088.
- Крестовский О.И. (1986) *Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек*. Ленинград, Гидрометеиздат, 118 с.
- Лисицын А.П. (1966) *Процессы современного осадкообразования в Беринговом море*. Москва, Наука, 574 с.
- Лисицын А.П. (1974) *Осадкообразование в океанах*. Москва, Наука, 438 с.
- Лисицын А.П. (1994) «Маргинальный фильтр океанов» *Океанология*, 34(5) : 735-747.

- Лисицин А.П. (2004) « Потоки осадочного вещества и загрязнений в Мировом океане и методы глобального мониторинга » // Данилов-Данильян В. И., Яншина Ф. Т., отв. Ред., *Стокгольм, Рио, Йоханнесбург : веки кризиса. Чтения памяти академика А.Л. Яншина.* Москва, Наука, 328 с. : 133-193.
- Лисицын А.П. (2014) « Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли » // Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И., общ. Ред., *Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли.* Москва, Научный мир, 576 с. : 331–571.
- Лопатин Г.В. (1950) « Эрозия и сток наносов » *Природа*, 7 : 19-28.
- Любушкина С.Г., Пашканг К.В., Чернов А.В. (2004) *Общее землеведение.* Москва, Просвещение, 288 с.
- Маракушев, А. А. (1973) *Петрология метаморфических горных пород.* Москва, Изд-во Московского Университета, 322 с.
- Марков К. К., отв. ред., (1980) *Физическая география Мирового океана,* Ленинград, Наука, 362 с.
- Марков К.К., Суетова И.А. (1965) « Эвстатические колебания уровня океана » // Сакс В. Н., глав. Ред., *Основные проблемы изучения четвертичного периода. К VII конгрессу INQUA. (США, 1965),* Москва, Наука, Серия 'Материалы Акад. наук СССР, Сибирское Отделение, Институт геологии и геофизики' 496 с. : 143-146.
- Медведков А.А. (2013) *Среднетаёжные геосистемы бассейна р. Енисей в условиях меняющегося климата.* Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Диссертация кандидата географических наук, 187 с.
- Мильков Ф.Н. (1970) *Ландшафтная сфера Земли.* Москва, Мысль, 1970, 208 с.
- Моисеев, П. А. (1969) *Биологические ресурсы Мирового океана.* Москва, Пищевая промышленность, 338 с., (1989) 2-е изд., перераб. и доп. Москва, Агропромиздат, 366 с.
- Мочалов И.И. (1982) *Владимир Иванович Вернадский.* Москва, Наука, 488 с.
- Мочалова О.И. (2005) *Природно-антропогенные процессы и современные ландшафты зоны Братского водохранилища.* Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Диссертация кандидата географических наук, 150 с.
- Нежиховский Р.А. (1971) *Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды.* Ленинград, Гидрометеиздат, 475 с.
- Оллиер К.Д., Пайн К.Ф. (2019) « Неотектоническое поднятие гор и геоморфология » *Геоморфология*, 4 : 3-26
- Редколлегия журнала (2012) « 80-Летие Сергея Павловича Горшкова » *Вестник Московского Университета*, Серия 5 География, 4 : 67-68.
- Романкевич Е. А. (1977) *Геохимия органического вещества в океане.* Москва, Наука, 256 с.
- Сидоренко, А. В., Теняков, В. А., Розен, О. М., 1971, « К геохимии гипергенеза в раннем докембрии » *Доклады АН СССР*, 201(3) : 678-681.
- Симаков К.В. (2004) *К созданию теории палеобиосферного времени.* Магадан, СВНЦО ДВО РАН, Т. 2. Становление. Оформление, 244 с.
- Степанов В.Н. (1974) *Мировой океан, динамика и свойства вод .* Москва, Знание, 254 с.
- Страхов Н.М. (1961) « О некоторых закономерностях денудации и переноса осадочного материала на площадях гумидных климатов » // Страхов Н.М., Редкол, *Современные осадки морей и океанов.* Москва, Изд-во Академии Наук СССР, 646 с. : 5-28.
- Хаин В.Е., Короновский Н.В. (2007) *Планета Земля от ядра до ионосферы.* Москва, КДУ, 244 с.
- Шипунов Ф.Я. (1980) *Организованность биосферы.* Москва, Наука, 292 с.
- Шокальский Ю.М. (1917) *Океанография.* Петроград, А.Ф. Маркс, 616 с.
- Эрхард Ж.П., Сежен Ж. (1984) *Планктон. Состав, экология, загрязнение.* Ленинград, Гидрометеиздат, 256 с.



Photo 1 : Sergueï Gorchkov vers ses 18 ans

Photo du tournant des années 1940 et 1950, transmise par Natalia Fedotkina.



Photo 2 : Sergueï Gorchkov lors d'un tournoi d'échecs
Photo transmise par Natalia Fedotkina.

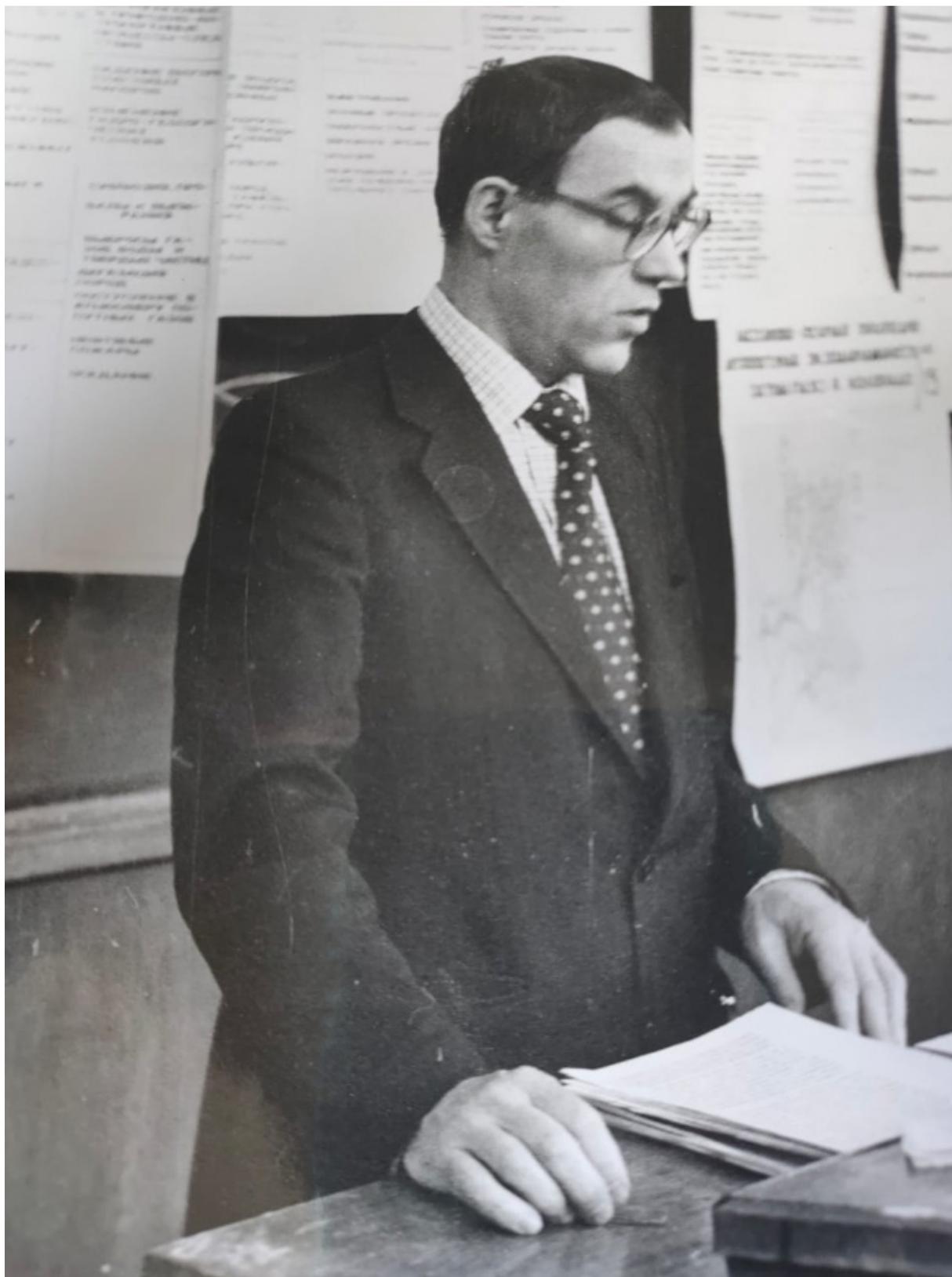


Photo 3 : Sergueï Gorchkov professant un cours à l'université en début de carrière
Photo transmise par Natalia Fedotkina.



Photo 4 : Sergueï Gorchkov sur le terrain sibérien, au nord de la Toungouska Pierreuse

Photo de 1990, transmise par Natalia Fedotkina.

Sergueï Gorchkov (68 ans) prépare le thé, assis à droite, pendant que l'expédition scientifique fait une pause au confluent de l'Oussass et de la Koulikhéna, un affluent de rive droite de la Toungouska Pierreuse. Les recherches se font dans le cadre du zapovednik de Sibérie Centrale, qui forme une réserve de biosphère.



Photo 5 : Sergueï Gorchkov en pratique de terrain avec des étudiantes
 Photo transmise par Natalia Fedotkina.

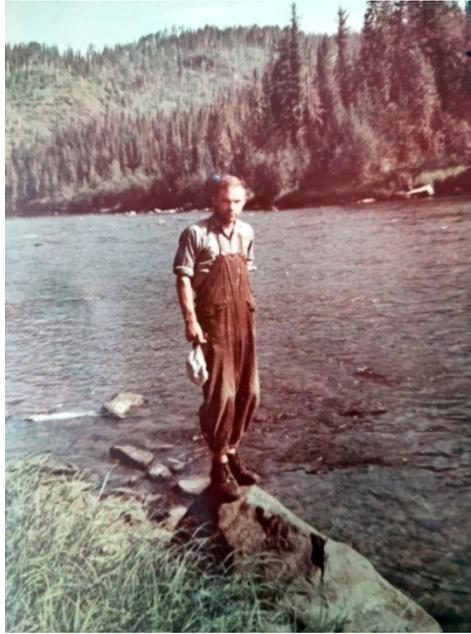


Photo 6 : Sergueï Gorchkov à la faculté de géographie de l'université Lomonossov
 (Cliché Hélène Touchart, 25 décembre 2009)

Assise : Larissa Evséïéva (département d'hydrologie continentale).

Debouts de gauche à droite : Thibault et Aude Touchart, Olga Motchalova, Laurent Touchart, Sergueï Gorchkov (77 ans).

A l'arrière-plan : affiche retraçant l'histoire du département de géographie physique des pays étrangers, fondé en 1938 par le géomorphologue et pédologue Boris Dobrynine, rebaptisé en 1989 département de géographie physique et de géoécologie du monde.



1 августа 1962 года
река Сиссим в Восточном Саяне

Мамочке
от совсем взрослого сына
в канун праздничка
нового года
1/1962-63/.

Le 1er août 1962
au bord de la rivière Sissim dans le Saïan Oriental

A ma petite maman,
de la part de ton fils désormais tout à fait adulte
à la veille de la fête du Nouvel An 1962-1963

Document 1 : Sergueï Gorchkov sur le terrain sibérien, dans les monts Saïan

Photo de 1962, transmise par Natalia Fedotkina.

La photo représente Sergueï Gorchkov le jour de l'anniversaire de ses 30 ans. Il pose au bord de la rivière Sissim, un affluent de rive gauche de l'Iénisseï qui dévale le massif du Saïan Oriental dans sa partie surnommée les Montagnes Blanches de la Mana. Le recto est annoté de la main de Sergueï Gorchov à destination de sa mère.

Н. А. Флоренсов

Сергей Обручев
 Восп. св. кн. изд-во.
 Иркутск 1973, 108с

(3.02.1891 - 29.08.1965)

Своими 80 работ (кн. и
 науч.-поп.)

В 1910 студент спец-мата МГУ
 естественные науки и химия
 лекции В. И. Вернадского
 сред. и к-ма проводил
 геол. съемку в Колтынецком^х
 и в Вост.-Завидловском (Ан)

В 1915 окончил. Заполнит
 Записки работы в том же год
 А. П. Павлова Записки геол. Геол. Ком.
 с 1918. Вручение в Комитет
 Туркменского бассейна. Углубление
 геол. Комитет, Естественные
 Союзисправление, Записки Углубления
 сериям Всесоюз.

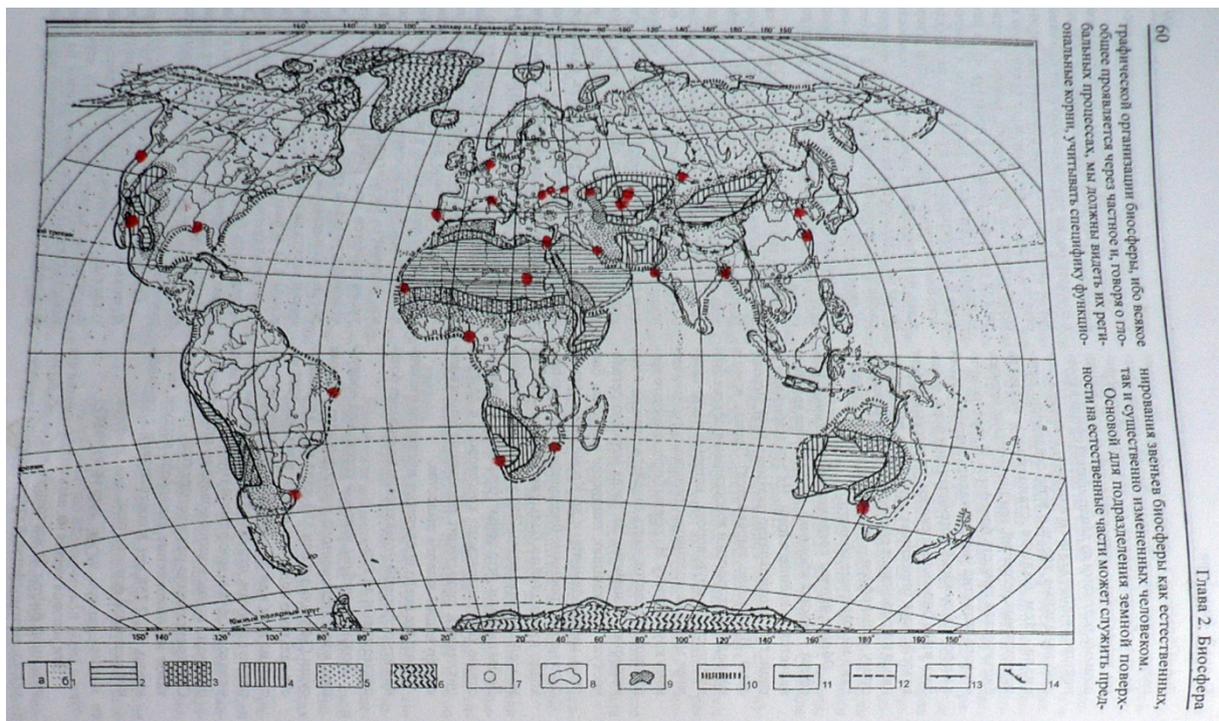
Воспоминания о жизни и деятельности Владимира Обручева

Document 2 : Notes manuscrites de Sergueï Gorchkov
 Notes prises par Sergueï Gorchkov en 2016, résumant les faits marquants de la biographie de Sergueï
 Obroutchev écrite par Nikolai Florensov, en vue de la rédaction d'un article sur son père, Vladimir
 Obroutchev.

Дорогому Лорану Тужару
от одного из авторов
24.12.2012
Горшков

Document 3 : Dédicace de Sergueï Gorchkov

La formule d'hommage, qui indique « à mon cher Laurent Touchart, de la part de l'un des auteurs, 24-12-2012, Gorchkov », est inscrite en première page de l'ouvrage collectif *La Russie et ses régions : potentiel d'intégration, risques et cheminement d'une transition vers le développement durable* (en russe).



Document 4 : Carte annotée par Sergueï Gorchkov

La carte intitulée « organisation géographique de la biosphère continentale » est tirée de la page 60 de son ouvrage de 2007, *L'introduction à l'étude de la biosphère* (en russe). Les numéros 10 à 13 de la légende classent les limites entre la mer et le continent. Les points rouges sont de la main de Sergueï Gorchkov (exemplaire du livre qu'il gardait à son domicile), placés au niveau des principaux contacts entre terres, mers et grands lacs, qui étaient si importants dans sa pensée.